



Universidad  
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Telemática

PROYECTO FIN DE CARRERA

**Estudio de la localización  
mediante centros geométricos  
de ubicaciones de estaciones  
base**

Autor: Carlos Martínez de la Osa

Tutores: Alicia Rodríguez Carrión y Carlos García Rubio

Leganés, 23 de octubre de 2013



# Agradecimientos

Gracias a mis tutores, Alicia y Carlos, por el gran apoyo durante la realización del proyecto y por la flexibilidad e inmejorable humor que me habéis ofrecido durante todas las reuniones. Siempre con una enorme disposición de ayudar y contestando rápidamente todas mis dudas.

Gracias a Débora, por explicarme su proyecto y su código y por el curso exprés de Android.

Gracias a mis padres, por haberme permitido ser la persona que soy hoy, por enseñarme a perseguir todo lo que me proponga, por dejarme escoger mi camino, por mostrarme cómo ser una buena persona, por inculcarme como defender mis ideales, por apoyarme constantemente y por ser un ejemplo de lucha y trabajo muy duro para facilitarnos a mí y a mi hermana todo lo que pudiéramos necesitar.

Gracias a mi hermana por transmitir día a día tanta felicidad y energía, por estar siempre a mi lado pase lo que pase. Espero que dentro de poco dejemos de estar tan lejos, te echo de menos.

Gracias a toda mi familia, por ser un apoyo constante y por su cariño. Gracias a mi prima Marta, nunca me olvidaré de ti.

Gracias a Christin, por llenar mi vida de magia y felicidad cada día, por acompañarme, por darme su apoyo, su amor, y su energía incondicional, y hacer que todo sea tan fácil.

Gracias a Alfonso, Rubén y Verónica, por haber sido un importantísimo pilar durante estos últimos años, por haberme rescatado de algún momento difícil y por regalarme vuestra incalculable amistad.

Gracias a Gerardo y Álvaro, por poder hablar de todo, por nuestro

tiempo en Berlín, nuestros *kickers*, nuestros *Risikos* y por acompañarme en el camino *perceiver*.

Gracias a Guillermo, Darío, Juan, Jesús, Hugo, Ernesto y muchos otros compañeros, gracias por esos descansos de clase, esas horas de prácticas, esas horas de cafetería que han hecho que estos años de universidad sean inolvidables.

Gracias a Guillermo Ballenato, por sus impecables clases y sesiones, que han hecho que crezca personalmente en muchísimos sentidos.

Gracias a todos los amigos que no he nombrado aquí, que han sido y siguen siendo muy importantes en mi vida, y a todos los que me habéis acompañado estos años.

Gracias.



# Resumen

Actualmente, los teléfonos inteligentes son los claros dominadores del mercado. Impulsados principalmente por sus mercados de aplicaciones que permiten a terceros ofrecer sus productos de una manera sencilla. Entre estas aplicaciones, están especialmente en auge, aquellas basadas en la localización y posicionamiento del usuario (Location Based Services, LBS).

En este proyecto, se pretende realizar un estudio de las distintas técnicas de posicionamiento disponibles para dispositivos móviles, e introducir nuevos métodos basados en el cálculo de centros geométricos utilizando las ubicaciones de las distintas estaciones base recibidas por el teléfono móvil. También se comprobará la importancia de que dicha ubicación sea exacta, obtenida del portal Infoantenas, o aproximada, obtenida de Google Maps Mobile.

El proyecto cuenta con una primera fase en la que se ha desarrollado una aplicación Android capaz de tomar los datos necesarios para el estudio. Después, se han recopilado medidas en distintos lugares para tener una idea general del funcionamiento de los sistemas. Y por último se han procesado los datos y se han analizado los resultados obtenidos.

En dichos resultados se puede observar como la exactitud algoritmos diseñados se asemeja a la de Google Maps Mobile sin Wi-Fi en entornos urbanos, y como la mejoran sustancialmente en entornos rurales, aunque siempre lejos de la del GPS. Se concluye también que el uso de la posición exacta mejora los resultados en zonas rurales, pero no así en zonas urbanas.

**Palabras clave:** Servicios de localización, GPS, Google Maps Mobile, BTS, centros geométricos, Infoantenas.



# Abstract

Nowadays, smartphones are clearly dominant on the market. Mainly boosted by their application markets, that allow third parties to offer their products in a simple way. Among these applications, are especially on the rise those ones based in the location and positioning of the user (Location based services).

In this project, the goal is to study different position techniques for mobile phones, and to introduce new methods based on the calculation of geometric centres using the position of the base transceiver stations (BTS) received by a mobile device in a specific point. It will also be checked how important it is that the position of these stations is exact, given by the web portal Infoantenas, or an approximation, given by Google Maps Mobile.

The project is divided into different phases, being the first one the development of an Android application which retrieves all the necessary data for the subsequent study. In the second phase, measurements are taken in several places to have a general idea of the different systems behaviour. And, finally, all the data is processed and the obtained results are analyzed.

These results have shown how the accuracy of the algorithms designed in this project is similar to the one obtained using Google Maps Mobile cell-based system without Wi-Fi in urban environments, and much better in countryside areas, but always much worse than the one obtained with GPS. It is also proved that using the exact position of the BTS improves the results in countryside areas but not in urban environments.

**Keywords:** Location based services, GPS, Google Maps Mobile, BTS, geometric centres, Infoantenas.



# Índice general

<b>1. Introducción y objetivos</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	3
1.3. Fases del desarrollo . . . . .	3
1.4. Medios empleados . . . . .	4
1.5. Estructura de la memoria . . . . .	5
<b>2. Estado del arte</b>	<b>7</b>
2.1. Métodos de posicionamiento . . . . .	7
2.1.1. Posicionamiento mediante satélites . . . . .	7
2.1.2. Posicionamiento mediante la red de telefonía móvil . . . . .	8
2.1.3. Posicionamiento mediante redes Wi-Fi . . . . .	13
2.1.4. Posicionamiento híbrido . . . . .	15
2.2. Infoantenas . . . . .	16
2.3. Plataforma Android . . . . .	18
2.3.1. Android Location . . . . .	18
2.3.2. Android Telephony . . . . .	19
2.4. Marco legal de la geolocalización en teléfonos inteligentes . . . . .	20
<b>3. Desarrollo de la Aplicación</b>	<b>21</b>
3.1. Estructura de la Aplicación . . . . .	21
3.2. Funcionalidad de la aplicación . . . . .	22
3.3. Detalles de la implementación . . . . .	24
3.3.1. <code>com.gast.signals.measurement.main</code> . . . . .	25
3.3.2. <code>com.gast.signals.measurement.listeners</code> . . . . .	26
3.3.3. <code>com.gast.signals.measurement.utils</code> . . . . .	27
3.4. Fichero de salida . . . . .	28
3.5. Problemas encontrados . . . . .	30

<b>4. Toma de medidas</b>	<b>33</b>
4.1. Herramientas utilizadas . . . . .	33
4.2. Estimación de la posición real . . . . .	34
4.3. Escenarios . . . . .	35
4.3.1. Escenario urbano . . . . .	35
4.3.2. Escenario rural . . . . .	36
4.4. Localización de estaciones base . . . . .	37
4.4.1. Google Maps Mobile . . . . .	37
4.4.2. Infoantenas . . . . .	39
4.4.3. Ejemplo de localización de varias BTS . . . . .	39
4.5. Problemas encontrados . . . . .	41
<b>5. Procesado y análisis de los datos</b>	<b>45</b>
5.1. Algoritmos utilizados . . . . .	45
5.1.1. Centroide . . . . .	46
5.1.2. Centro de masas . . . . .	46
5.1.3. Centro de masas al cuadrado . . . . .	47
5.2. Procesado . . . . .	49
5.3. Análisis de la exactitud . . . . .	50
5.3.1. Entorno urbano . . . . .	51
5.3.2. Entorno rural . . . . .	55
5.3.3. Comparación entre exteriores e interiores . . . . .	60
5.3.4. Conclusiones . . . . .	62
<b>6. Planificación y presupuesto</b>	<b>65</b>
6.1. Planificación . . . . .	65
6.2. Presupuesto . . . . .	68
<b>7. Conclusiones y trabajos futuros</b>	<b>71</b>
7.1. Conclusiones . . . . .	71
7.2. Trabajos futuros . . . . .	74
<b>Glosario</b>	<b>75</b>
<b>Referencias</b>	<b>77</b>
<b>A. Script python Google Maps Mobile</b>	<b>79</b>

# Índice de figuras

2.1. Esquema de COO. Tomado de [12]. . . . .	9
2.2. Esquema de COO utilizando sectorización. Tomado de [12]. . . .	10
2.3. Atenuación del canal obtenida a través del RSSI en el área de Duisburg. Tomado de [14]. . . . .	11
2.4. Esquema de COO utilizando sectorización y RSSI. Tomado de [12]. . . . .	11
2.5. Esquema del método TA. Tomado de [12]. . . . .	12
2.6. Esquema del método TDOA. Tomado de [12]. . . . .	13
2.7. Concepto de A-GPS. Tomado de [10]. . . . .	15
2.8. Visor cartográfico de Infoantenas. Tomada de [19] . . . . .	16
2.9. Resumen de características de una estación base en Infoante- nas. Tomada de [19] . . . . .	17
3.1. Estructura de la aplicación . . . . .	22
3.2. Captura de pantalla . . . . .	23
3.3. Paquete <code>com.gast.signals.measurement.main</code> . . . . .	25
3.4. Paquete <code>com.gast.signals.measurement.listeners</code> . . . . .	26
3.5. Paquete <code>com.gast.signals.measurement.utils</code> . . . . .	27
4.1. Estimación de la posición real a través de Google Maps. . . . .	35
4.2. BTS de Vodafone en un entorno urbano. (Fuente: Infoantenas)	36
4.3. BTS de Vodafone en un entorno rural. (Fuente: Infoantenas) .	37
4.4. Ejemplo de lugares de medida en Cotorredondo. . . . .	38
4.5. Todas las estaciones base utilizadas. (Fuente: Infoantenas) . .	40
4.6. Ejemplo de localización de estaciones base. . . . .	41
4.7. Ejemplo en la posición de una BTS dada por Google Maps Mobile . . . . .	42
4.8. Error en la posición de una BTS dada por Infoantenas. . . . .	43
5.1. Centroides de una figura. . . . .	46
5.2. Centro de masas de una figura. . . . .	47
5.3. Centro de masas al cuadrado de una figura. . . . .	48

5.4.	Error medio del centroide en un escenario urbano. . . . .	51
5.5.	Error medio del centro de masas un escenario urbano. . . . .	52
5.6.	Error medio del centro de masas al cuadrado un escenario urbano. . . . .	52
5.7.	Error medio de los tres algoritmos en escenario urbano utilizando GMM. . . . .	54
5.8.	Error medio de todos los métodos utilizados en entorno urbano.	54
5.9.	Error medio del centroide en un escenario rural. . . . .	55
5.10.	Error medio del centro de masas un escenario rural. . . . .	56
5.11.	Error medio del centro de masas al cuadrado un escenario rural.	57
5.12.	Error medio de los tres algoritmos en escenario rural utilizando Infoantenas. . . . .	59
5.13.	Error medio de todos los métodos utilizados en entorno rural.	59
5.14.	Error medio del centroide en exteriores e interiores. . . . .	61
5.15.	Error medio del centro de masas en exteriores e interiores. . .	61
5.16.	Error medio del centro de masas al cuadrado en exteriores e interiores. . . . .	62
6.1.	Diagrama de Gantt del proyecto . . . . .	67



# Índice de tablas

4.1. Medidas recibidas en un punto dado. . . . .	41
4.2. Ubicaciones obtenidas usando Google Maps Mobile. . . . .	42
5.1. Error medio obtenido por métodos existentes en un escenario urbano. . . . .	51
5.2. Error medio obtenido por métodos existentes en un escenario rural. . . . .	55
5.3. Error medio obtenido por métodos existentes exteriores e interiores. . . . .	60



# Capítulo 1

## Introducción y objetivos

En este documento se va a describir el trabajo de investigación realizado, durante los últimos doce meses, en el Departamento de Ingeniería Telemática de la Universidad Carlos III de Madrid, bajo la supervisión de Carlos García Rubio y Alicia Rodríguez Carrión. En él, se introducirá el estudio realizado y se explicarán detenidamente todos los procesos seguidos hasta la finalización del proyecto, así como las conclusiones que se han podido extraer del mismo.

En el proyecto se realizará un estudio sobre la importancia que puede tener, en la localización basada en el servicio telefónico, el conocer la ubicación exacta de las estaciones base de telefonía móvil.

### 1.1. Introducción

Hoy en día, existen cada vez más aplicaciones que utilizan la localización del usuario con diversos objetivos: comerciales, de investigación, de ocio, etc. Impulsados al público en gran medida por la llegada de los navegadores basados en el sistema de posicionamiento global (GPS), para automóviles, alrededor del año 2000, y definitivamente en 2007 con la salida del iPhone de Apple y la irrupción en el mercado de todo tipo de «teléfonos móviles inteligentes» y el sistema operativo Android de Google. La llegada de este tipo de terminales trajo consigo las *Appstore* y el *Android Market*, respectivamente, lo que permitió hacer llegar al usuario final multitud de aplicaciones de terceros. Este hecho provocó un auge en el uso de aplicaciones móviles y un gran número de éstas se basan en la localización.

Esta tecnología permite que estén de moda muchos servicios utilizando la localización del usuario: juegos, mapas y herramientas para redes sociales como compartir la ubicación propia con amigos, buscar zonas de interés próximas, etc. También es muy utilizada por empresas con distintos objetivos

como control de flotas o recopilación de información de interés académico o comercial.

Un requisito indispensable de todo este tipo de servicios es tener una exactitud en las coordenadas lo suficientemente buena en cada caso, esto se ha logrado con diferentes técnicas.

La tecnología más común en este tipo de servicios es el GPS, un sistema global de navegación por satélite accesible a todo el público por medio de un receptor GPS, que se encuentra integrado en casi todos los teléfonos inteligentes y proporciona una localización con un error de pocos metros.

Otra de las técnicas muy utilizadas es la localización basada en las estaciones base de telefonía móvil, donde se puede localizar al usuario de una manera menos exacta que el GPS, aunque con alguna ventaja, como una mejor cobertura cuando no hay visibilidad directa a los satélites GPS o un menor uso de energía del terminal. Uno de los servicios más populares que utiliza esta técnica es el ofrecido por Google Mobile Maps (GMM) que integró este servicio en su sistema operativo Android bajo el nombre de *coarse location*.

Por otro lado, en junio de 2011, el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITYC) hace público un portal web llamado Infoantenas, en el que se puede acceder a la ubicación exacta, sobre el terreno español, de las estaciones de telefonía móvil, o *base transceiver station* (BTS). Además GMM también ofrece un servicio por el cual se puede obtener una aproximación de la localización de las mismas.

Con lo mencionado anteriormente como motivación, se pretende crear un sistema de localización basado en los datos obtenidos del portal Infoantenas y GMM, y comparar sus características con otros métodos ya existentes. Dado que podría tener utilidades interesantes como mejora de la privacidad y de autonomía del usuario.

Cabe destacar que este proyecto es en cierto modo continuista o complementario al trabajo realizado previamente por Débora Gómez Bertoli en el Departamento de Ingeniería Telemática de la Universidad Carlos III de Madrid, en el cual se realizó una aplicación Android que calculaba la posición del usuario basándose en distintos centros de un triángulo formado, generalmente, por las tres BTS recibidas con más potencia, utilizando la ubicación de las mismas ofrecidas por GMM. En este proyecto sin embargo, se pretende utilizar otros tipos de centros geométricos que permita incluir distinto número de BTS, de una a siete. Y también se diferencia en la inclusión de la ubicación de las BTS dada por Infoantenas. [7]

## 1.2. Objetivos

- Realizar una aplicación móvil que permita adquirir la información necesaria acerca de las señales telefónicas recibidas por el terminal y la localización dada por los servicios disponibles.
- Realizar varios conjuntos de medidas en distintos escenarios para poder tener una idea general del funcionamiento posteriormente.
- Diseñar uno o varios algoritmos que permitan calcular la localización del usuario, basándose en la ubicación de las BTS captadas por el terminal y la intensidad de señal de las mismas.
- Procesar los datos recogidos y calcular las distintas localizaciones con los métodos diseñados.
- Comparar los resultados obtenidos por los distintos algoritmos, usando las ubicaciones de las BTS obtenidas por Infoantenas y las obtenidas por GMM, y a su vez con las características de las localizaciones obtenidas por otros métodos.
- Con todos los datos recopilados y la información extraída de ellos, intentar tener una aproximación sobre qué métodos se utilizan en Google Maps Mobile para ofrecer la ubicación del usuario, ya que Google no ha facilitado información al respecto.

## 1.3. Fases del desarrollo

- Estudio de las técnicas de localización existentes. Es importante tener unos buenos conocimientos sobre el tema que se va a tratar, para poder ver que experimentos se han realizado y los resultados que se han obtenido. Así se podrá hacer una mejor preparación del proyecto y adquirir nuevas ideas o cambios para el mismo.
- Estudio de las principales características de Android y su entorno de desarrollo. En este caso, se ha aprendido a programar en Android prácticamente desde cero, por lo tanto se ha estudiado su funcionamiento, su estructura y el entorno de desarrollo adecuado para llevar a cabo la implementación de la aplicación, que para este proyecto ha sido Eclipse. Además, se ha prestado atención a las características especiales que ofrece este sistema operativo sobre la localización del usuario y sobre la telefonía del dispositivo.

- Diseño e implementación de una aplicación Android que permita guardar información sobre las señales de telefonía móvil recibidas, así como las localizaciones ofrecidas por los sistemas de localización ya disponibles en el terminal y el sistema operativo. Se necesitan una serie de mediciones a lo largo del proyecto, por tanto se ha decidido programar una aplicación que recoja expresamente los datos de interés para ello.
- Toma de un conjunto de medidas en diversos escenarios. Para el posterior análisis de los datos se necesita tener un conjunto de muestras lo suficientemente grande y variado, y así poder realizar una generalización aceptable.
- Diseño de varios algoritmos que permitan estimar la posición del terminal, basándose en la ubicación de las BTS captadas y la intensidad de señal de las mismas. Sabiendo la información de que se dispone se han pensado posibles soluciones para la estimación que se quiere llevar a cabo y se han escogido tres métodos distintos para ello.
- Procesado de las medidas recogidas y cálculo de las localizaciones con los algoritmos diseñados. Una vez se tienen las medidas recogidas y se conocen los algoritmos que se van a utilizar, se computa todo por medio de un programa Java y se extraen los resultados deseados.
- Análisis de los resultados y posterior comparación entre los métodos diseñados en el proyecto y con los ya existentes. En esta fase, teniendo ya los resultados y las características de cada método se comparan entre ellos y con los métodos existentes ofrecidos por Android como GPS y GMM.
- Extracción de conclusiones. En esta fase del proyecto se ha reflexionado sobre los resultados obtenidos, y se han extraído las ideas principales del trabajo desarrollado.
- Redacción de la memoria. Aunque se han ido tomando notas durante todo el desarrollo del proyecto, en una última fase se han juntado todas éstas y se ha redactado el documento final.

## 1.4. Medios empleados

Para realizar este proyecto se ha empleado un terminal móvil con sistema operativo Android 2.2, con el que se han podido tomar las medidas referentes a la localización y la telefonía móvil. Para la programación de la aplicación

móvil y para el procesado de los datos, se ha utilizado, en un ordenador, el entorno de desarrollo Eclipse y las hojas de cálculo de Microsoft Excel.

También se han empleado medios de transporte como autobús y coche para el desplazamiento a las diferentes zonas de medida.

## 1.5. Estructura de la memoria

En el capítulo 1, Introducción, se hará una breve introducción al proyecto, indicado la idea general y la motivación del mismo. Después se mostrarán los objetivos que se desean cumplir, así como las fases de las que ha constado el proyecto. Por último, se indicarán los medios que se han empleado en el mismo y se presentará la estructura de este documento.

El capítulo 2, Estado del Arte, explicará la información previa que se ha utilizado para idear y desarrollar el proyecto. Aquí se mostrarán los métodos de posicionamiento existentes, se hablará sobre el portal web Infoantenas, y se expondrán las principales características de Android respecto al posicionamiento y la telefonía.

En el capítulo 3, Desarrollo de la aplicación, se realizará una descripción minuciosa de la aplicación y todas sus funcionalidades. También se explicará detalladamente el formato del fichero de salida. Y, finalmente, se discutirán los principales problemas y dificultades encontrados de esta fase del proyecto.

En el capítulo 4, Toma de medidas, se describirá detalladamente el proceso de toma de medidas del proyecto. Se enumerarán los diferentes escenarios que se han diferenciado y las medidas que se han tomado en cada uno de ellos. También, se expondrá cómo se ha obtenido la ubicación de las BTS. Y, por último, se mostrarán los problemas encontrados durante este proceso.

El capítulo 5, Procesado y análisis de los resultados, explicará los distintos algoritmos utilizados para la estimación de la localización. Mostrará cómo se ha realizado el procesado de la información. Y, en él, se realizará un análisis de los resultados obtenidos y se compararán con otros métodos existentes. Para finalizar, se extraerán conclusiones de dichas observaciones.

En el capítulo 6, Planificación y presupuesto, se incluirá un resumen del proyecto, con una división en fases del mismo y el correspondiente diagrama

de Gantt. Y después se hará un desglose de costes de personal, costes del material y costes totales del proyecto.

En el capítulo 7, Conclusiones y trabajos futuros, se recalcarán las principales conclusiones que se han podido extraer del estudio realizado, y se sugerirán algunas líneas de trabajo futuro en el mismo ámbito.

Finalmente, el documento incluye también un anexo. En éste se proporcionara el *script* que se ha utilizado para hacer las peticiones a Google de las ubicaciones de las diferentes BTS utilizadas.



# Capítulo 2

## Estado del arte

### 2.1. Métodos de posicionamiento

Uno de los servicios más populares de posicionamiento es el GPS, que está basado en satélites, tiene una amplia cobertura y una buena exactitud. Y aunque hoy en día la gran mayoría de teléfonos móvil poseen un receptor GPS, muchas veces no se utiliza por problemas de batería o porque se pierde la visión directa con los satélites, como puede pasar en zonas cubiertas. Aquí cobran importancia otro tipo de sistemas, como los basados en la red de telefonía móvil, que utilizan el conocimiento de la posición de las estaciones base para estimar una localización, generalmente menos exacta que la del GPS. También, con una cobertura menos extensa, pero con interesantes capacidades de posicionamiento, se encuentran las técnicas basadas en redes Wi-Fi.

#### 2.1.1. Posicionamiento mediante satélites

Los métodos de posicionamiento están, generalmente, basados en la determinación de distancias, ángulos o direcciones entre puntos conocidos y puntos desconocidos. Ya nuestros antepasados, tomaban como referencia las estrellas, que les permitían orientarse, con la gran ventaja que poseía este método: una cobertura prácticamente global. Hoy en día, estas estrellas y constelaciones han sido reemplazadas por los satélites artificiales que constituyen los Sistemas Globales de Navegación Satélite (GNSSs). Para hacer un posicionamiento adecuado, sería suficiente con recibir las señales de al menos cuatro satélites, cuyas posiciones son conocidas.

## **Servicio de posicionamiento global (GPS)**

Probablemente el más conocido y popular de los sistemas de posicionamiento. Utiliza una red de, al menos, 24 satélites que, como podemos ver en su web oficial [15], transmiten en dos frecuencias (L1 y L2) información de tiempo y orbital a una tasa de 50 bits por segundo. Como se ha comentado anteriormente, un receptor GPS necesita recibir estas señales de al menos cuatro satélites para calcular la posición en el espacio (latitud, longitud y altitud) con un error generalmente pequeño (aproximadamente 10 metros), que depende también de la calidad del receptor [20].

Este sistema presenta un gran número de ventajas, como la mencionada de la gran exactitud. Además no hay límite en el número de usuarios que puede acceder al sistema y tiene una cobertura global. También, presenta una gran resistencia a interferencias.

Por otro lado también tiene una serie de inconvenientes, donde destacan la pérdida casi total de cobertura dentro de edificios, recintos cerrados, túneles... Y el alto consumo de batería, que presenta un problema especialmente en los teléfonos móviles. Otro de los principales problemas es el tiempo necesario para establecer la posición del usuario por primera vez o tras un apagado del receptor, que puede llegar a ser de varios minutos.

### **2.1.2. Posicionamiento mediante la red de telefonía móvil**

La localización de terminales en las redes de telefonía móvil ha sido foco de investigación durante los últimos quince años [11], prestando atención, sobre todo, a las redes GSM. Y más recientemente se han estudiado varios métodos basados en la red UMTS. En las redes 4G implantadas ya en varios países, y en alguna parte del territorio español, se ha prestado especial atención a la mejora de la localización por medio de la red móvil, por lo que se esperan grandes avances en esta dirección.

Cada vez son menos los teléfonos móviles que no tienen GPS integrado de serie, pero, debido a las desventajas comentadas anteriormente acerca de dicho sistema, muchos usuarios lo desactivan para ahorrar batería o simplemente se encuentran en zonas que no reciben señal. En estos casos, es útil recurrir a este tipo de tecnología, que cada vez se está haciendo más popular debido a la mejora en sus resultados.

## Identificador de celda (Cell Identifier, CID)

Un método simple de calcular la posición estimada del usuario, consiste en la evaluación del CID. Este esquema es comúnmente utilizado por los operadores de red. La posición de un terminal móvil que está conectado a una BTS en particular, identificada por su CID, se determina por la localización de la propia estación base. Es un método generalmente poco exacto ya que no tiene ningún tipo de geometría en cuenta, ni la de la propia celda. Este error se reduciría donde hay una gran densidad de BTS, como áreas muy pobladas, dado que las celdas serán más pequeñas. Sin embargo en zonas más despobladas, dichas celdas serán más grandes y, en consecuencia, también lo será el error cometido. Esta técnica también es conocida como «Celda de origen» (Cell of origin, COO). Ver figura 2.1.

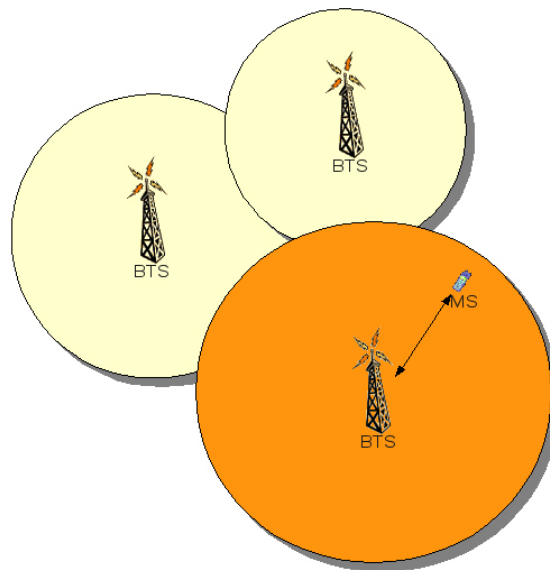


Figura 2.1: Esquema de COO. Tomado de [12].

Una sencilla forma de mejorar este método es considerar que las estaciones base emiten la señal utilizando tres antenas sectorizadas, que abarcan los 360° que rodean a la BTS, por lo tanto cada una de ellas emitiría en un sector de 120°. Esta dato puede ser captado por las operadoras y saber en cuál de los sectores está localizado el terminal móvil. Y se podrá situar al usuario en dicho sector, generalmente en el centro del mismo. Ver figura 2.2.

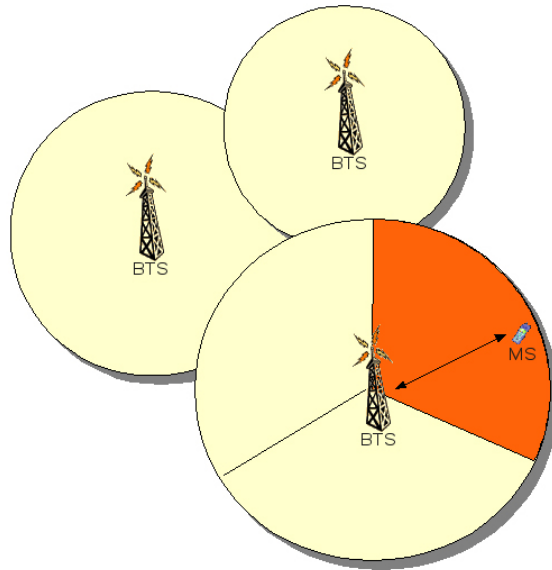


Figura 2.2: Esquema de COO utilizando sectorización. Tomado de [12].

Otra manera más de conseguir resultados más exactos es utilizar el indicador de la intensidad de la señal recibida (Received signal strength indication, RSSI), que, como su propio nombre indica, ofrece, con una alta tasa de refresco, la intensidad de la señal de la BTS recibida por el terminal móvil. Aunque depende mucho del entorno en el que se encuentre el usuario, se puede generalizar que cuanto menor sea la distancia entre la BTS y el terminal móvil, mayor será la intensidad de la señal recibida. Se puede apreciar en la figura 2.3, la evolución de la atenuación obtenida a través del RSSI en función de la distancia en el área de Duisburg (Alemania).

Por tanto, combinando esta información con las técnicas anteriores, se puede estimar la distancia a la BTS dentro de un sector de la celda. Como se muestra en la figura 2.4

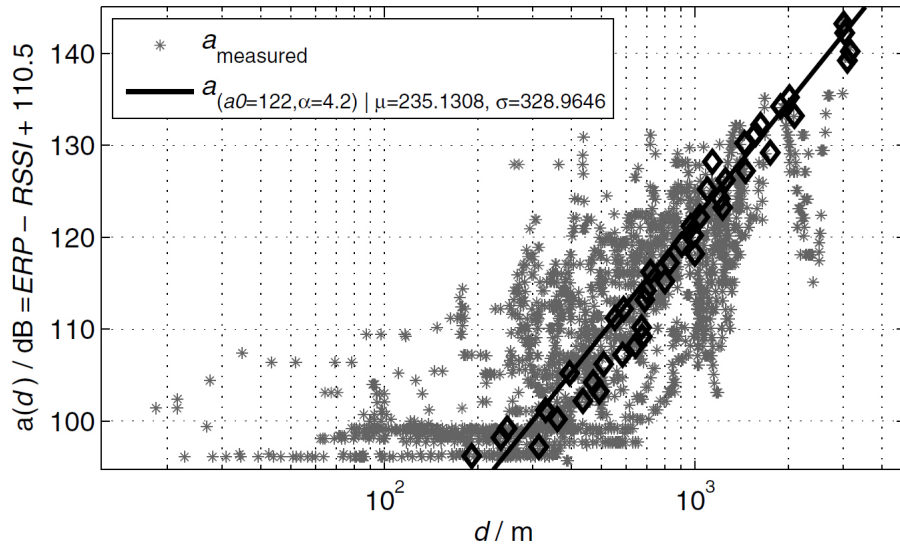


Figura 2.3: Atenuación del canal obtenida a través del RSSI en el área de Duisburg. Tomado de [14].

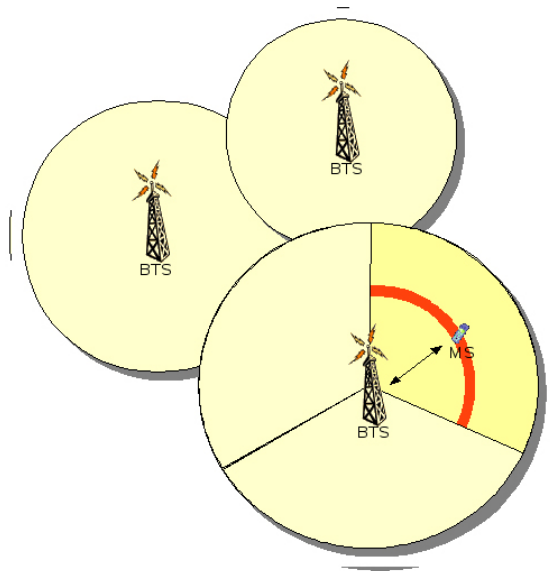


Figura 2.4: Esquema de COO utilizando sectorización y RSSI. Tomado de [12].

### Avance de tiempo (TA)

Como GSM utiliza TMDA, las señales emitidas por las BTS deben llegar al terminal en ciertas rendijas de tiempo, y para permitir una sincronización precisa, el terminal debe conocer el retardo de propagación de la señal entre él mismo y la BTS. Existe un valor de 16 bits llamado *Time Advance* (TA), que indica el retardo de la señal entre la BTS y el terminal, y vuelta, lo que se llamaría «Tiempo de vuelta completa».

Por tanto, suponiendo propagación en el vacío y considerando la velocidad de las ondas electromagnéticas igual a la de la luz, se puede hacer una estimación de la distancia. Ver figura 2.5.

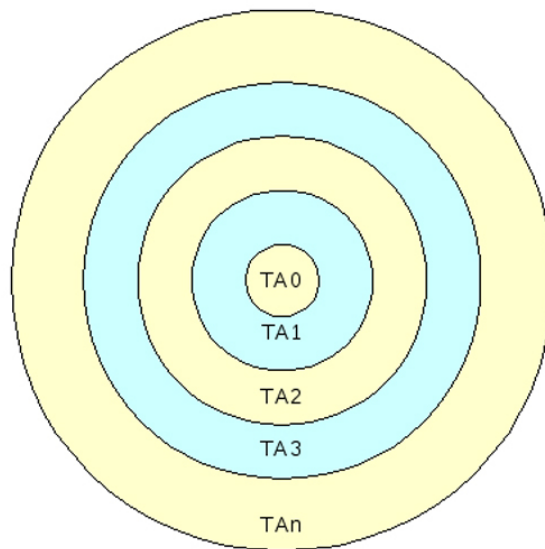


Figura 2.5: Esquema del método TA. Tomado de [12].

Según se indica en el texto [12] los valores de TA están en el rango 0 - 63, que, en distancia, equivale a 0m - 35 km.

Para este procedimiento, lógicamente, se necesita conocer la ubicación de la BTS a la que está conectado el terminal.

### Diferencia de tiempo de llegada (TDOA)

Como se explica ampliamente en el artículo [5], esta técnica se basa en estimar la diferencia entre los tiempos de llegada de una misma señal emitida por el terminal a un conjunto de antenas receptoras, en el mismo instante de tiempo. No es necesario, en este caso, conocer los tiempos de llegada exactos,

con conocer la diferencia de éstos es suficiente. Debido a la diferencia de distancias que existe entre las antenas respecto al punto de medición, los tiempos de retardo de las señales captadas por el terminal, serán distintos.

Por tanto, como en el método anterior, suponiendo condiciones de espacio libre y asumiendo que la velocidad de las ondas es igual a la de la luz, se puede calcular geométricamente donde se encontraría el terminal. Primero se realizaría este método para dos BTS, quedando como resultado dos puntos que se encuentran a las distancias calculadas de las dos BTS y después una tercera definiría el punto concreto donde se ubica el terminal, con la suposición de que todo esté en el mismo plano. Se puede ver un esquema en la figura 2.6.

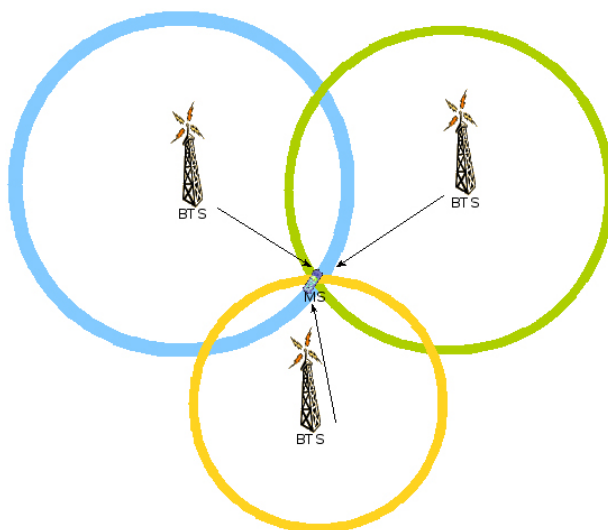


Figura 2.6: Esquema del método TDOA. Tomado de [12].

### 2.1.3. Posicionamiento mediante redes Wi-Fi

La manera más simple de estimar la posición con esta tecnología es muy similar al COO, sólo que, en este caso, en lugar de utilizar los CIDs de las BTS, se utilizarán las direcciones físicas de los puntos de acceso captados por el terminal. El radio de cobertura de dichos puntos de acceso es mucho menor que el de las BTS (10-60m), lo cual hace que las estimaciones sean mucho más precisas, aunque por otro lado la cobertura es mucho menor. Para esto sería necesario poder acceder a una base de datos que contenga la localización de cada dirección física, las cuales existen, y varias compañías las están utilizando comercialmente.

Aunque estas técnicas se idearon sólo para interiores, que es donde se

suele localizar este tipo de redes, la explosión en el crecimiento de las redes Wi-Fi, que se está ofreciendo en ciudades y lugares públicos, ha hecho posible que también sirvan en muchas zonas exteriores.

Aparte del método descrito de identificación de direcciones físicas, que se considera un método basado en detección de proximidad, también existen otro tipo de técnicas como las basadas en trilateración y las basadas en reconocimiento de patrones. [16]

La trilateración es la determinación de la posición, absoluta o relativa, de puntos mediante la medida de distancias. El prefijo «tri» indica que deben existir al menos tres puntos fijos para determinar una posición. Al igual que se comentó previamente en el método TDOA, con el primer punto de acceso y la intensidad con que éste se recibe se puede fijar una circunferencia de puntos, al introducir el segundo punto de acceso quedarían sólo dos puntos que cumplan los requisitos, y con la introducción del tercer punto de acceso, resultaría la posición deseada. La principal desventaja de este tipo de métodos es que, dado los entornos que suele haber en espacios interiores, es muy difícil estimar bien las distancias sólo con la intensidad de señal. Otra desventaja es que se requiere que el terminal reciba al menos tres puntos de acceso, lo cual no siempre se cumple.

En las técnicas basadas en reconocimiento de patrones destaca el *Fingerprinting* [16]. Este método utiliza una base de datos de patrones de señales, que se ha creado previamente en una primera fase de calibración. Por tanto, antes de que una posición pueda ser determinada, todo el área donde se quiere realizar el posicionado debe ser barrida y guardada en la base de datos. Este área debe ser cubierta por un patrón de puntos, llamados huellas dactilares (*fingerprints*). Paso a paso, para cada huella dactilar, debe haber una medida que incluya información acerca de la localización, acerca de la estación y sobre la intensidad de señal recibida. Después, cuando se quiera utilizar el servicio, se comparará la información recibida con las huellas dactilares y se asociará la posición a aquella que más se parezca, este parecido se decidirá por medio de algún algoritmo específico.

Esta tecnología presenta una serie de ventajas: no se necesita realizar ningún cambio al hardware, ni del terminal ni de los puntos de acceso. Tampoco se necesita conocer la posición de los puntos de acceso, sólo la del terminal durante la fase de calibración. Se puede usar tanto en interiores como en exteriores y tiene muy buena exactitud. La principal desventaja es que, en muchas ocasiones, es muy costoso y difícil realizar la fase de calibración, ya que necesita mucho tiempo y/o muchos medios para poder realizarse.



#### 2.1.4. Posicionamiento híbrido

Se consideran técnicas de posicionamiento híbridas aquellas que incluyen varias de las tecnologías mencionadas en esta sección. La más destacable es el GPS asistido (A-GPS).

La idea principal de A-GPS es establecer una red GPS de referencia, en la cual los receptores tengan siempre visibilidad. Esta red de referencia, por tanto, estará conectada a la infraestructura de la red de telefonía móvil, y monitorizará continuamente el estado de la constelación en tiempo real. Con este método se mejora el tiempo inicial de sincronización, la sensibilidad y el consumo de energía respecto al GPS. En GPS, para realizar la localización el receptor necesita, primero, conocer los elementos orbitales de los satélites, información que se transmite con la señal *broadcast* GPS, que como se ha mencionado anteriormente es de sólo 50 bits por segundo. Pero estos elementos pueden ser transmitidos alternativamente usando la red de telefonía móvil, pasando a reducir los tiempos de inicio de varios minutos a pocos segundos. Esto permite que, cuando la conexión no se esté utilizando, se pueda desconectar el sistema, ya que tarda muy poco en volver a iniciarse, suponiendo un importante ahorro de batería. El concepto de A-GPS se muestra en la figura 2.7.

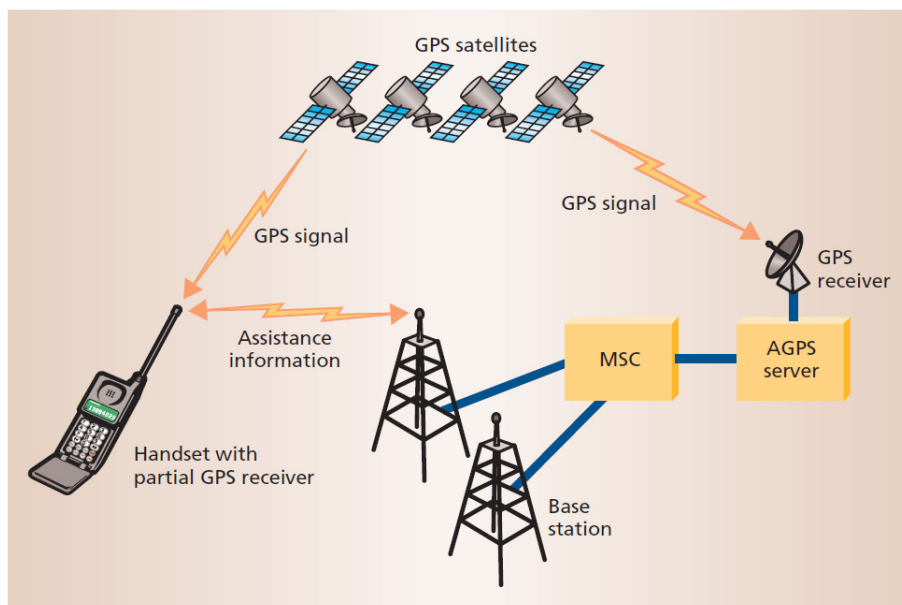


Figura 2.7: Concepto de A-GPS. Tomado de [10].

## 2.2. Infoantenas

Una de las motivaciones principales del proyecto es la apertura del portal web Infoantenas [19], por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITYC) en junio de 2011. Dicho portal dispone de un visor cartográfico que muestra, sobre el mapa del territorio español, las estaciones base de telefonía móvil (ver figura 2.8). Si se pulsa encima de una estación, se obtiene información sobre su ubicación, la compañía a la que pertenece, la banda en la que emite, el nivel máximo permitido de exposición a la radiación permitida en microvatios por centímetro cuadrado y los valores medidos por el MITYC en un conjunto de puntos alrededor de la estación, como se muestra en la figura 2.9. Este visor dispone también de un buscador, el cual centrará el mapa en la dirección introducida en el mismo.

También dispone de un visualizador que sólo muestra texto. Éste indicará las 10 BTS más cercanas a la dirección introducida en el buscador. Al pulsar sobre el nombre de éstas, se mostrará la misma información que en el caso anterior. Figura 2.9.

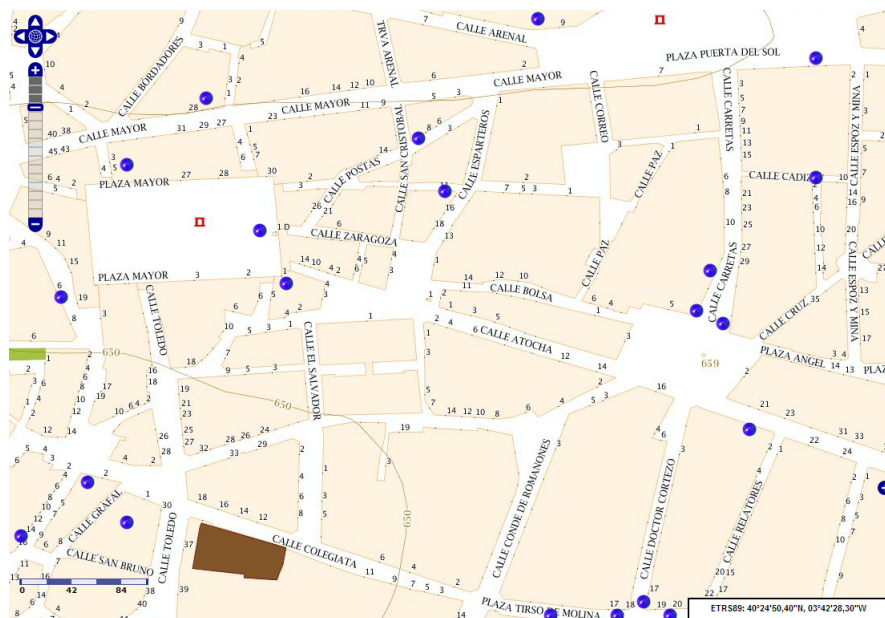


Figura 2.8: Visor cartográfico de Infoantenas. Tomada de [19]



#### Niveles de exposición

#### LOCALIZACIÓN:

**Código del emplazamiento:**00288  
**Provincia:**MADRID  
**Ciudad:**LEGANÉS  
**Ubicación:**CL VIRGEN DEL CAMINO, 1  
**Coordenadas:**03W4609.83 40N1947.91

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Operador	Código estación	Sistema	Banda	Valor Permitido ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	0357MX	UMTS	1905-1910; 1950-1965; 2140-2155 MHz	1000.00 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	c-357	DCS	1825.1-1845.1 MHz	900.00 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
VODAFONE ESPAÑA, S.A.	i-157	GSM	948.9-959.9 MHz	450.00 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

#### NIVELES MEDIDOS EN EL ENTORNO

Distancia ( m )	Acimut ( ° )	Valor Medido ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )
25.0m	10.0°	0.03 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
31.0m	20.0°	0.13 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
34.5m	245.0°	0.04 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
40.0m	0.0°	0.23 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
46.0m	120.0°	0.07 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
55.0m	190.0°	<0.01 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
65.0m	45.0°	0.13 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
65.0m	180.0°	<0.01 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
66.0m	255.0°	0.12 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
20.0m	165.0°	0.03 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
18.5m	315.0°	0.06 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

Figura 2.9: Resumen de características de una estación base en Infoantenas.  
Tomada de [19]

## 2.3. Plataforma Android

En este proyecto se pretende realizar un estudio de la localización utilizando las ubicaciones de las estaciones base recibidas por un terminal móvil en un momento dado. Para ello, se debe implementar una aplicación que nos permita adquirir los datos necesarios de dichas BTS así como otras localizaciones disponibles en el terminal, como GPS, para poder hacer posteriormente una comparación.

Se ha decidido desarrollar dicha aplicación para el sistema operativo Android, debido a la familiarización con el lenguaje Java y a la disposición de los medios requeridos para llevar a cabo la programación y las posteriores mediciones.

En esta sección se describirán brevemente las bibliotecas que Android ofrece en lo respectivo a localización y servicios telefónicos, que serán los utilizados en el proyecto.

### 2.3.1. Android Location

Android ofrece al desarrollador servicios basados en localización (LBS) que permiten obtener la localización actual del terminal. Estos servicios incluyen tecnología como el GPS y técnicas basadas en la red móvil o en redes Wi-Fi. Se puede especificar la tecnología que se desea utilizar, o se pueden pedir un cierto conjunto de criterios como exactitud, coste y otros requerimientos y permitir que Android seleccione el más apropiado.

Los dos principales elementos de los LBS en Android son:

- **Location Manager** (Gestor de localización): Permite el acceso y el manejo de los servicios de localización
- **Location Providers** (Proveedores de localización): Cada uno de los proveedores representa una tecnología de localización diferente usada para ubicar al usuario

Con el **Location Manager** se pueden hacer, por ejemplo las siguientes tareas:

- Obtener la localización actual del terminal
- Seguir el movimiento del usuario
- Establecer alertas de proximidad para detectar cuando se entra o se sale de un área específica

- Encontrar los proveedores de localización disponibles
- Monitorear el estado del receptor GPS

En cuanto a los proveedores de localización, existen tres distintos en Android:

- **GPS PROVIDER:** Determina la localización usando el receptor GPS del terminal.
- **NETWORK PROVIDER:** Determina la localización basándose en la red de telefonía y los puntos de acceso Wi-Fi disponibles. Requiere conexión a Internet.
- **PASSIVE PROVIDER:** Es un tipo de proveedor, que se utiliza de forma pasiva, para recibir actualizaciones de la localización cuando otras aplicaciones o servicios hacen una petición de estas actualizaciones. Este proveedor, entonces, devolverá la localización generada por otros proveedores.

Otra clase importante dentro de este paquete es el **Location Listener** (Sensor de localización) que permite a la aplicación «escuchar» los cambios y las características de la localización ofrecida. Y es capaz de ejecutar ciertos métodos cuando se da una condición, por ejemplo, si la localización actual ha cambiado un número de metros específico. [2, 18]

### 2.3.2. Android Telephony

Android también pone a disposición un paquete con el cual se puede realizar un gran número de acciones en cuanto a la red telefónica se refiere. Se pueden iniciar llamadas telefónicas, mandar y gestionar mensajes de texto SMS, y también ofrece la capacidad de monitorear cambios en el teléfono, la red, la conexión de datos y los estados de la tarjeta SIM. Todo esto último será lo que se usará en este proyecto y se explicará brevemente a continuación.

La principal clase, utilizada para estas acciones, se llama **Telephony Manager** (Gestor de telefonía). Esta clase proporciona información sobre varios servicios: el operador de telefonía utilizado, información sobre la celda actual (identificador de celda, código de área local...), información sobre las celdas vecinas, el tipo de red a la que está conectado el teléfono, el tipo de teléfono, la versión de software del mismo, información de la SIM, etc.

Como en el caso del paquete de localización, para que se puedan «escuchar» los cambios en la red (como cambios en la intensidad de señal o

cambio de la BTS a la que está conectado el teléfono), y realizar una acción al respecto, se necesita implementar un objeto de la clase `PhoneStateListener` (Sensor del estado del teléfono) y asociarlo a la clase *Telephony Manager*. [3, 18]

## 2.4. Marco legal de la geolocalización en teléfonos inteligentes

Al tratarse de un fenómeno reciente, su marco legal no ha sido definido de manera totalmente correcta y las legislaciones de los estados miembros de la Unión Europea, incluido España, no prevén una regulación expresa de los sistemas de geolocalización a través de teléfonos inteligentes.

Actualmente, la regulación de la geolocalización en el sector de los móviles se limita principalmente a la Directiva Europea de Protección de Datos 95/46/CE. A efectos de la aplicabilidad de esta directiva se considera que los datos de localización de los Smartphones y la combinación de la dirección única MAC y de la localización calculada de un punto de acceso WiFi son datos personales. [8]

Esta directiva también estipula que el principal fundamento para que el tratamiento de los datos de localización sea legítimo es el consentimiento previo e informado.

En este sentido establecen que de forma predeterminada, los servicios de localización deben estar apagados y que la activación de estos servicios requiere de un consentimiento informado y específico a los diferentes fines para que los datos sean captados o almacenados. La información debe ser clara, completa y comprensible.

También, se considera que es fundamental que el dispositivo advierta continuamente que la función de geolocalización está activada, por ejemplo, a través de un icono que se encuentre permanentemente visible. [9]

# Capítulo 3

## Desarrollo de la Aplicación

En este capítulo se va a realizar una breve introducción de la aplicación Android para tener una idea general de la misma. Después se dará una descripción detallada de su ciclo de vida y todas sus funcionalidades. También se indicarán los paquetes y clases en los que está dividida dicha aplicación y posteriormente se explicará detalladamente el formato del fichero de salida en el que se obtendrá la información. Por último, se discutirán los principales problemas y dificultades de esta fase del proyecto.

### 3.1. Estructura de la Aplicación

El objetivo principal de la aplicación es recopilar información de las BTS recibidas por el terminal. Esto nos permitirá realizar estimaciones de la posición utilizando distintos métodos en un procesado posterior. Además, se almacenará la posición recibida por el terminal mediante su sistema GPS y a través de Google Location Services, para poder comparar estas posiciones con las calculadas a través de los métodos usados en este proyecto. Esta información se escribirá en un fichero de texto para su posterior procesado.

Podemos dividir la aplicación en tres bloques, como se refleja en la figura 3.1:

- **Principal:** en este bloque se encuentra la interfaz gráfica, y la principal lógica de la aplicación. Se irá solicitando y recopilando la información de manera secuencial. También en este bloque, se escribirá la información en el fichero de texto de salida.
- **Sensores:** esta parte se encargará de recoger la información del sistema GPS y del sistema de telefonía del dispositivo, para después ponerla a disposición del bloque principal.

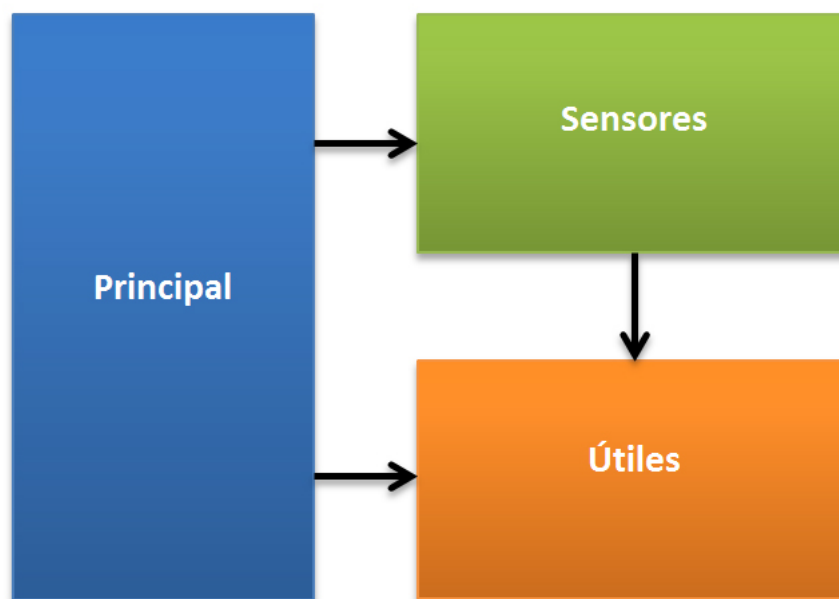


Figura 3.1: Estructura de la aplicación

- **Útiles:** esta capa contiene objetos y constantes utilizados por los otros dos bloques.

## 3.2. Funcionalidad de la aplicación

Al iniciar la aplicación, se muestra la pantalla que vemos en la figura 3.2, en ella se pueden observar las diferentes mediciones que se tomarán durante la ejecución del programa. También se muestra un botón que el usuario deberá pulsar para comenzar las mediciones.

Antes de comenzar las medidas, el usuario debe cerciorarse de que el terminal se encuentra conectado a la red telefónica en modo 2G ya que esto, en la versión actual de Android (4.2 «Jelly Bean»), no puede programarse internamente en el código de la aplicación.

El primer paso que se toma tras pulsar el botón, es comprobar que el sistema GPS del terminal esté habilitado. Si no lo está, se muestra un cuadro de diálogo que indicará que debe ser activado y permitirá mostrar el menú correspondiente para hacerlo.

Una vez el GPS del terminal está activado y se pulsa el botón «Start Measurements», la aplicación comenzará a realizar las siguientes medidas:

- **GPS:** se tomarán cinco medidas de la localización recibida por el GPS,



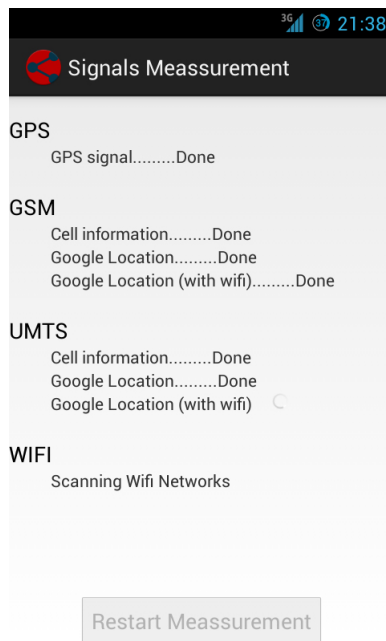


Figura 3.2: Captura de pantalla

dichas medidas estarán separadas entre ellas un mínimo de diez segundos. Se almacenarán las coordenadas obtenidas, así como la precisión estimada por el propio sistema.

También, al pulsar el botón para comenzar las medidas se pone en marcha un temporizador que hará que si en cinco minutos no se han realizado las medidas, por problemas de cobertura GPS por ejemplo, se guardarán los datos que se hayan tomado hasta el momento y se comenzará el siguiente paso.

- **Medidas 2G:** tras esto, con el terminal en modo 2G se procederá a recibir la siguiente información:
  - **Información de Celda:** se recopila información de la BTS a la que estamos conectados, así como de las vecinas. Se medirán de cada una de las estaciones base: CID, LAC e intensidad de la señal recibida (en RSSI). Se realizarán veinte mediciones espaciadas diez segundos entre ellas.
  - **Localización por Google (sin Wi-Fi):** después, se guardará la localización estimada por Google («Coarse Location») en el terminal, teniendo la conexión Wi-Fi desactivada, para ello se utiliza

la conexión a internet 2G del terminal. Se realizarán veinte medidas con un espacio de diez segundos entre ellas. De cada una se almacenarán las coordenadas y la precisión estimada en metros. Al igual que ocurría en la medidas del GPS, se activará un temporizador de cinco minutos, tras el cual se guardarán los datos tomados hasta entonces y se pasará a la siguiente medición.

- **Localización por Google (con Wi-Fi):** por último, se guardará de nuevo la localización estimada por Google, esta vez teniendo la conexión Wi-Fi activa. Se realizarán veinte medidas con un espacio de diez segundos entre ellas. De cada una se almacenará las coordenadas y la precisión estimada en metros. También cuenta con un temporizador de cinco minutos.

Una vez finalizados estos pasos, que tienen una duración de aproximadamente diez minutos si no hay problemas de cobertura, se mostrará el menú de conexiones móviles del terminal para que el usuario habilite la conexión 3G ya que, como se mencionó anteriormente, en la versión de Android para la que se ha programado la aplicación no está disponible esta opción mediante código.

- **Medidas 3G:** Se realizarán exactamente las mismas medidas que en el apartado 2G. En este caso, sólo se podrá obtener el CID y el LAC de la estación base a la que está conectado el terminal. De las estaciones bases vecinas se recibirá en su lugar el *Primary Scrambling Code*(PSC). En ambos casos se recogerá también el valor de la intensidad de señal (en RSSI).
- **Redes Wi-Fi:** Por último, se medirán las redes Wi-Fi detectadas por el terminal, se almacenará de cada punto de acceso: Dirección del punto de acceso(BSSID), Nombre de la red(SSID), tipo de encriptación, frecuencia del canal(en MHz), nivel de señal (en dBm)

Una vez se han tomado todas las medidas, se escribirán en un fichero de texto que se almacenará en el directorio raíz de la tarjeta SD. Se proporciona una descripción más detallada de este fichero en la sección 3.4

### 3.3. Detalles de la implementación

En esta sección se explicará la estructura de paquetes de la aplicación y se comentarán las principales funciones de cada clase. Además se mostrarán los diagramas de clase de cada paquete, así como del proyecto completo.

Como se puede ver en la figura 3.1, la aplicación se compone de tres bloques principales, que se corresponden con los paquetes en los que está dividida.

### 3.3.1. `com.gast.signals.measurement.main`

Este paquete se encarga de la interfaz gráfica, y la principal lógica de la aplicación.

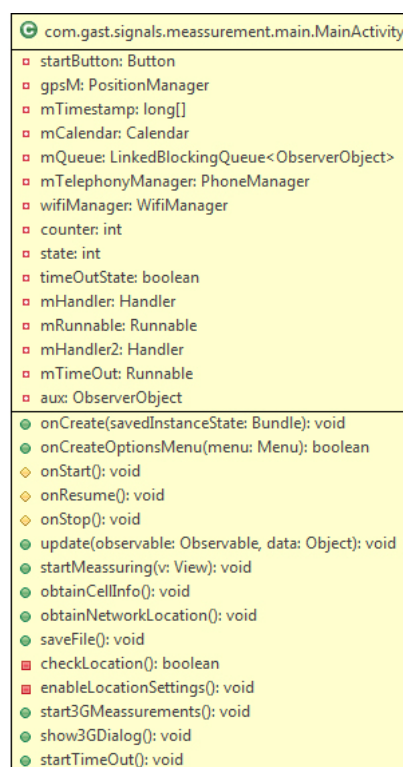


Figura 3.3: Paquete `com.gast.signals.measurement.main`

- **MainActivity:** es la principal clase de la aplicación, se encarga de manejar la interfaz gráfica, la cual va variando según se van completando las distintas tareas. También se ocupa de solicitar y almacenar la información que nos interesa. Las distintas medidas son recibidas de las clases `PhoneManager` y `PositionManager`. Por último se escriben todos los datos, que hasta el momento se habían guardado en memoria local, en un fichero de texto.

### 3.3.2. com.gast.signals.measurement.listeners

Este paquete se encargará de recoger la información del sistema GPS y del sistema de telefonía del dispositivo.

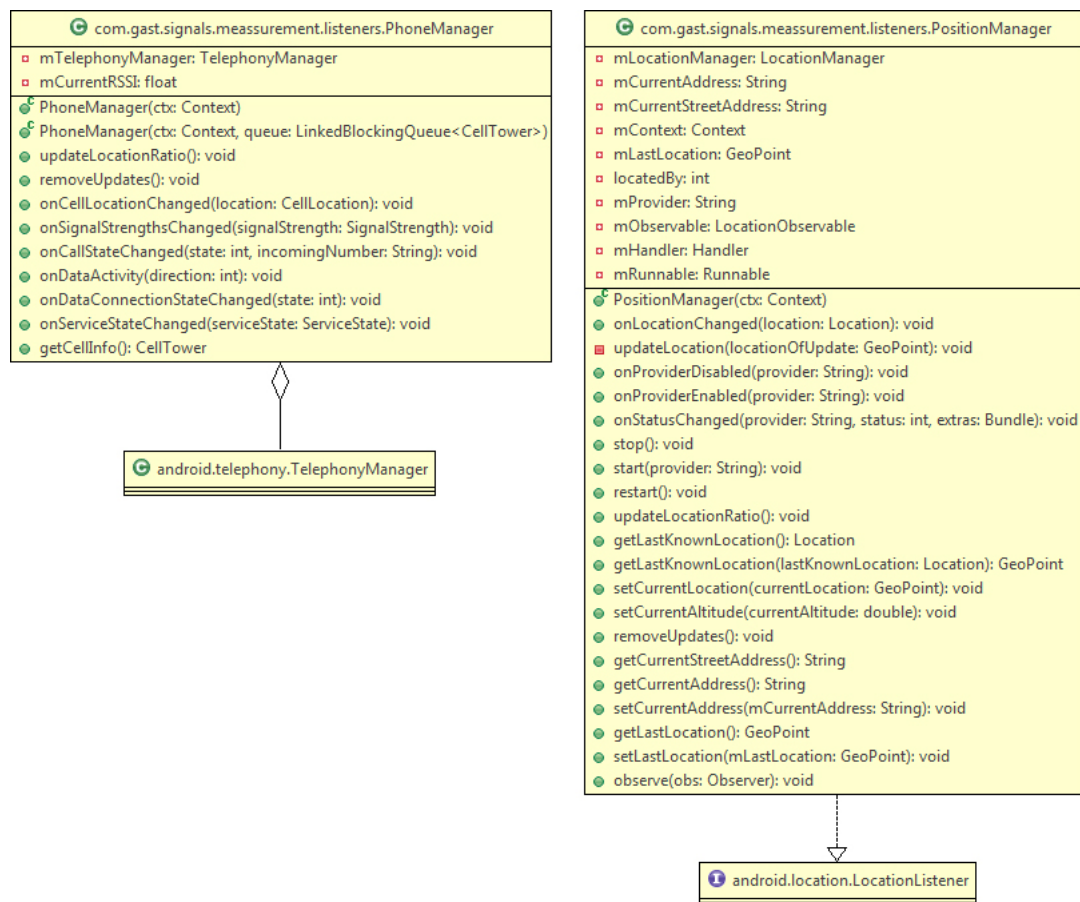


Figura 3.4: Paquete com.gast.signals.measurement.listeners

- **PhoneManager:** clase que se encarga de escuchar los cambios de celda y de la intensidad de la señal del dispositivo móvil. Almacena la información de la celda a la que éste está conectado y de las celdas vecinas, que estarán disponibles para la clase principal utilizando el método `getCellInfo`
- **PositionManager:** esta clase actualiza la información de la posición del usuario. Dicha actualización se realiza cada cierto periodo de tiempo

fijado por código. La posición obtenida puede provenir del GPS o de la localización ofrecida por Google. Esta información se enviará a la clase principal, utilizando el patrón «*Observer - Observable*»

### 3.3.3. com.gast.signals.measurement.utils

Este paquete contiene objetos y constantes utilizados por los otros dos paquetes.

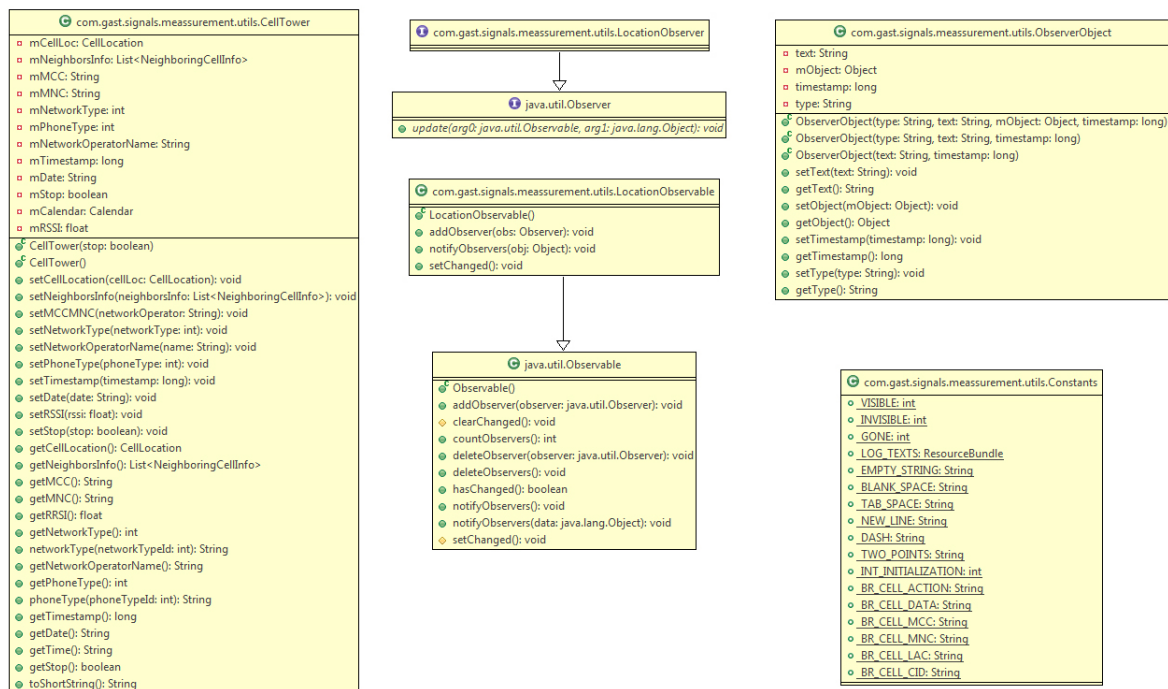


Figura 3.5: Paquete `com.gast.signals.measurement.utils`

- **CellTower**: esta clase contendrá información referente a la estación base a la que está conectado el dispositivo, así como de las celdas vecinas.
- **ObserverObject**: esta clase contendrá información de los objetos que se intercambiarán entre los **Observers** y los **Observables**.
- **Constants**: contendrá constantes utilizadas en el resto de las clases.

- **LocationObserver:** interfaz, que hereda de `java.util.Observer`, y que implementará la clase `MainActivity` para poder recibir las actualizaciones de los objetos `Observables`.
- **LocationObservable:** clase que hereda de «`java.util.Observable`» utilizada para realizar el patrón «Observer» en este proyecto.

### 3.4. Fichero de salida

Todos los datos recopilados por la aplicación se podrán obtener en un fichero de texto que se habrá creado en el directorio raíz de la tarjeta SD. Así podremos disponer fácilmente de toda la información para su posterior procesamiento. El nombre del fichero de texto será la marca de tiempo del momento en el que el archivo se ha creado.

El formato del fichero será el siguiente:

- El fichero comenzará con las marcas de tiempo del momento en el que se realizó cada una de las medidas, precedidos de las correspondientes etiquetas, para facilitar después un posible procesamiento.

```
1 logGPSLoc 1364673043270
2 log2GCell 1364673094590
3 log2GLoc 1364673295805
4 log2GWifi 1364673488215
5 log3GCell 1364674002749
6 log3GLoc 1364674203851
7 log3GWifi 1364674400906
```

- Después, se indicarán las localizaciones GPS recibidas. Se podrá ver, en orden: marca de tiempo, «GPS», coordenadas y precisión estimada. Separados por tabulaciones.

```
1 1364673047640 GPS 40291752,-3811209 12.0
2 1364673059905 GPS 40291703,-3811295 12.0
3 1364673072141 GPS 40291703,-3811284 12.0
4 1364673083355 GPS 40291693,-3811284 8.0
5 1364673094575 GPS 40291693,-3811274 8.0
```

- Posteriormente, podremos ver los datos tomados con relación a las estaciones base, en modo 2G. Primero tenemos la marca de tiempo, después la etiqueta «2GCell» y tras esto, por cada estación base recibida por el terminal encontramos: LAC, CID e intensidad de la señal (en RSSI).

Perteneciendo el primer trío de los datos mencionados, a la estación base a la cual se encuentra conectado el terminal, seguido de las estaciones vecinas.

```

1  1364673155040 2GCell 16070 46302 15.0 16070 46327 13
   16070 46309 14 16070 46310 13 16070 46300 13 16070
   12001 11
2  1364673165091 2GCell 16070 46302 16.0 16070 46327 13
   16070 46309 14 16070 46310 13 16070 46300 13 16070
   12001 10 19668 12831 10
3  1364673175142 2GCell 16070 46302 16.0 16070 46327 14
   16070 46309 14 16070 46310 13 16070 46300 13 16070
   12001 10 19668 12831 10
4  1364673185194 2GCell 16070 46302 15.0 16070 46327 14
   16070 46309 14 16070 46310 13 16070 46300 13 19668
   12831 10 16070 46323 9
5  1364673195240 2GCell 16070 46302 16.0 16070 46327 14
   16070 46309 14 16070 46310 13 16070 46300 13 19668
   12831 10 16070 46323 9
6  1364673205294 2GCell 16070 46302 16.0 16070 46327 14
   16070 46309 14 16070 46310 13 16070 46300 12 19668
   12831 10 16070 12001 9
7  ...

```

- Tras esto, vendrán las localizaciones estimadas por Google utilizando la conexión 2G, primero con la conexión Wi-Fi desactivada, y después activada. El formato será: marca de tiempo, 2G (en el caso de la medición sin Wi-Fi) o 2GW (medición con Wi-Fi), coordenadas y precisión estimada.

```

1  ...
2  1364673457871 2G 40290789,-3813724 2128.0
3  1364673467981 2G 40290789,-3813724 2128.0
4  1364673478091 2G 40290789,-3813724 2128.0
5  1364673488209 2G 40290789,-3813724 2128.0
6  ...
7  1364673498723 2GW 40291976,-3811211 34.0
8  1364673509196 2GW 40291976,-3811211 34.0
9  1364673519658 2GW 40291976,-3811211 34.0
10 1364673530115 2GW 40291976,-3811211 34.0
11 ...

```

- Luego, podremos ver los datos tomados con relación a las estaciones base, en modo 3G. Primero tenemos la marca de tiempo, después la etiqueta «3GCell» y tras esto, de la estación base a la que se encuentra conectado el terminal se obtiene LAC, CID e intensidad de la señal

(en RSSI). De las estaciones vecinas, la información recibida por el terminal será su PSC e intensidad de la señal, se mostrarán de manera consecutiva.

1	1364674113337	3GCell	16070	4075	10.0	243	14	245	12
2	1364674123397	3GCell	16070	4075	10.0	243	14	245	13
3	1364674133439	3GCell	16070	4075	10.0	243	14	245	12
4	1364674143487	3GCell	16070	4075	10.0	243	12	245	11
5	...								

- Tras esto, vendrán las localizaciones estimadas por Google utilizando la conexión 3G, primero con la conexión Wi-Fi desactivada, y después activada. El formato será: marca de tiempo, 3G (en el caso de la medición sin Wi-Fi) o 3GW (medición con Wi-Fi), coordenadas y precisión estimada.

1	...								
2	1364674356900	3G	40292920,	-3812494	768.0				
3	1364674367010	3G	40292920,	-3812494	768.0				
4	1364674377146	3G	40292920,	-3812494	768.0				
5	1364674387250	3G	40292920,	-3812494	768.0				
6	1364674397360	3G	40292920,	-3812494	768.0				
7	...								
8	1364674407925	3GW	40291976,	-3811211	34.0				
9	1364674418360	3GW	40291976,	-3811211	34.0				
10	1364674428845	3GW	40291976,	-3811211	34.0				
11	1364674439247	3GW	40291976,	-3811211	34.0				
12	...								

- Por último, se encuentra la etiqueta «logWifiNetworks», y bajo ésta aparecerá un registro autodescriptivo de las redes Wi-Fi recibidas por el terminal.

1	logWifiNetworks
2	SSID: WLANCMO, BSSID: 00:22:75:ac:8a:41, capabilities: [WPA-PSK-TKIP+CCMP][WPA2-PSK-TKIP+CCMP], level: -85, frequency: 2412
3	SSID: JAZZTEL_4C, BSSID: 00:1a:2b:53:37:b9, capabilities: [WEP], level: -96, frequency: 2462

### 3.5. Problemas encontrados

Durante el desarrollo de la aplicación Android, se han encontrado una serie de problemas, los principales son los siguientes:



- **Cambio entre 2G y 3G mediante código.** Durante la aplicación se necesita poder controlar el modo de la conexión de datos del terminal. La ejecución debe empezar en modo 2G para luego pasar a 3G a la mitad de la misma. Lo ideal sería poder alternar entre ellos de manera automática, para la comodidad del usuario y para garantizar que las medidas son correctas. Lamentablemente esto no es posible en la versión actual de Android (4.2 «Jelly Bean»), de esta forma, se necesita la buena práctica del usuario del terminal, que deberá elegir el modo correcto de manera manual.
- **Información de las estaciones base vecinas en 3G.** Cuando el terminal se encuentra en modo 3G, se dispone del CID y el LAC de la estación base a la que el terminal está conectado, pero no del PSC. Sin embargo, de las estaciones base vecinas, únicamente se dispone del PSC. Esto supone que no tenemos una manera de asociar el PSC de las estaciones con el CID y LAC de las mismas, por lo tanto no tendremos una forma de poder aplicar los algoritmos deseados en un posterior procesamiento de los datos.
- **Información de estaciones base vecinas en algunos terminales Android.** Unas de las características vitales del proyecto es el disponer de información acerca de las estaciones base vecinas que recibe el terminal, lo cual nos permitirá calcular los distintos centros. Sin embargo, no en todos los terminales está disponible esta información, dado que cada fabricante realiza su propia implementación del API de Android nativo en el teléfono. Hemos podido ver que algunos de estos fabricantes, como Samsung, optan por entregar siempre una lista vacía en respuesta al método `getNeighboringCellInfo` y por tanto no podemos disponer de esta información.
- **Escritura en tarjeta SD.** La información recopilada por la aplicación, como ya se ha comentado en este documento, se escribe en un fichero de texto, para que después pueda ser procesada y analizada en un ordenador. Este fichero se escribirá en el directorio raíz de la tarjeta SD, pero para que esto suceda, dicha tarjeta debe encontrarse insertada en el terminal. Por tanto, es necesario del buen hacer del usuario para poder recopilar los datos necesarios.



# Capítulo 4

## Toma de medidas

En este capítulo se describe detalladamente el proceso de toma de medidas del proyecto. Primero, se enumerarán las herramientas que se han utilizado durante esta fase. Después se explica cómo se ha tomado la considerada como posición real del usuario. A continuación, se describen los diferentes escenarios que se han diferenciado y las medidas que se han tomado en cada uno de ellos. Después, se detallará cómo se ha obtenido la ubicación de las BTS. Y, por último, se mostrarán los problemas encontrados durante este proceso.

### 4.1. Herramientas utilizadas

Se han utilizado diferentes herramientas para obtener los datos necesarios para el estudio realizado. Por un lado necesitamos un terminal Android para ejecutar la aplicación y tomar medidas referidas a la localización del usuario. Para esto también se ha utilizado Google Maps como explicaremos a continuación. Por otro lado, se han utilizado la web «Infoantenas» y el servicio Google Maps Mobile, para recopilar información referente a la localización de las estaciones base de telefonía móvil.

- **HTC Magic:** La aplicación descrita en la sección anterior está programada para el sistema operativo Android. Por lo tanto necesitamos un terminal que utilice dicho sistema operativo para realizar las diferentes ejecuciones de la aplicación y la consecuente recopilación de la información deseada. En este caso, se ha utilizado el teléfono móvil HTC Magic, utilizando la versión de Android 2.2.1 «Froyo», la cual es compatible con la aplicación. Este terminal evita el problema mencionado en la sección 3.5 referente a la falta de información sobre las estaciones base vecinas.

El dispositivo se ha utilizado con una tarjeta SIM de la compañía Vodafone mediante la cual se han obtenido las conexiones 3G y 2G a Internet que son necesarias para el correcto funcionamiento de la aplicación.

- **Google Maps:** Se ha hecho uso de esta utilidad de Google para tener una estimación más acertada de la posición del usuario (conocida visualmente a priori) al ejecutar la aplicación, dado que el GPS del terminal tiene un radio de error de, como mínimo, ocho metros (obtenido con el método `getAccuracy`). Más detalles en la sección 4.2
- **Google Maps Mobile:** El objetivo del proyecto, como hemos comentado anteriormente, es estimar la localización del usuario conociendo, a priori, la posición de las bases de telefonía móviles. Una de las formas de estimar la ubicación de las BTS viene proporcionada por el servicio Google Maps Mobile, al cual se le puede realizar una petición HTTP utilizando objetos JSON. En dicha petición se introduce como parámetros el CID y el LAC de la BTS deseada y el servicio devuelve las coordenadas de la posición estimada de la estación base. El *script* utilizado se puede ver en el apéndice A.
- **Infoantenas:** Otra de las formas de averiguar la posición exacta de las BTS es, como ya explicamos en la sección 2.2, el portal Infoantenas. En él encontraremos las estaciones base de telefonía móvil situadas en el territorio español de forma exacta. Obteniendo información además del operador, así como algunos valores de emisión medidos en sus alrededores. El problema que presenta es que no existe una asociación directa entre la información obtenida de este portal y el CID y LAC recibidos por el terminal. Se explicará con más detalle en la sección 4.4.

## 4.2. Estimación de la posición real

Como ya hemos mencionado, en todas las mediciones que se han realizado, la máxima precisión obtenida con el método `getAccuracy` para el GPS del terminal ha sido ocho metros. Esta cantidad indica radio de confianza del 68 %, en otras palabras, si se dibuja un círculo de radio ocho metros en la posición dada actual, hay un 68 % de probabilidad de que la localización real esté dentro del círculo. [6]

Para intentar mejorar esta aproximación y obtener el menor error posible se ha utilizado Google Maps. El procedimiento utilizado ha sido identificar visualmente el punto en que se tomaron las mediciones y obtener manualmente las coordenadas de dicho punto. Para hacer esto de una manera más

precisa, se han seleccionado lugares que son fácilmente reconocibles en la vista satélite de Google Maps, (p. ej., esquinas, cambios de color, etc.). Podemos ver un ejemplo en la figura 4.1, donde se situó el móvil sobre la esquina de un banco, que dado el contraste que produce con el suelo es fácilmente identificable.

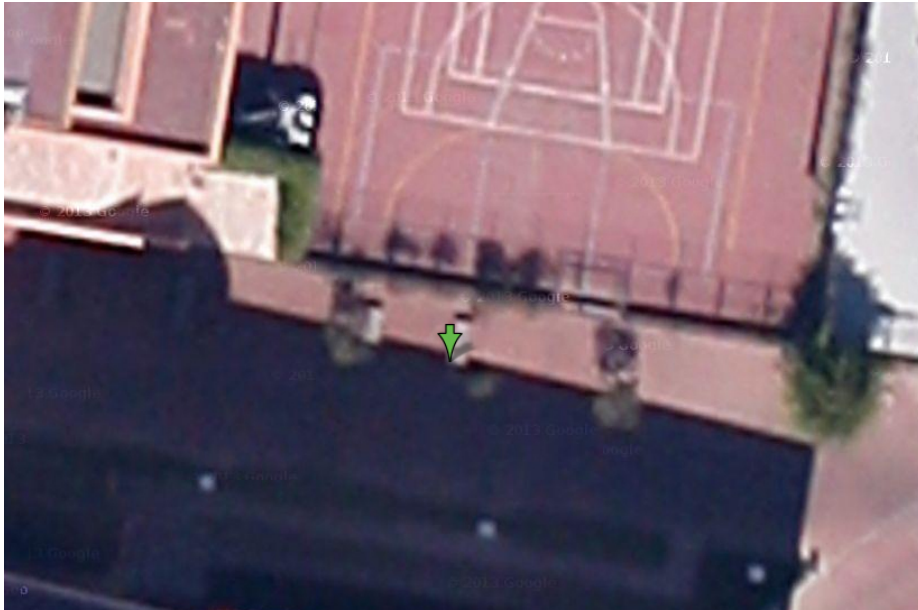


Figura 4.1: Estimación de la posición real a través de Google Maps.

### 4.3. Escenarios

Para poder garantizar que el estudio realizado en este proyecto tiene un aspecto general, se ha procedido a tomar mediciones en distintos tipos de escenario, se han dividido principalmente en dos tipos: rural y urbano, descritos a continuación. Se han tomado diferentes medidas en distintos lugares en cada uno de ellos. Además, en cada tipo de escenario se han tomado medidas tanto en exteriores como en interiores, para poder analizar su posible influencia.

#### 4.3.1. Escenario urbano

Se ha considerado escenario urbano aquel con una densidad media-alta de BTS en los alrededores y una abundante edificación, como por ejemplo: Leganés, Fuenlabrada, Madrid, etc. No se ha establecido ningún criterio exacto

para diferenciar este tipo de escenario, sino una aproximación con la información obtenida de Infoantenas, ver figura 4.2.

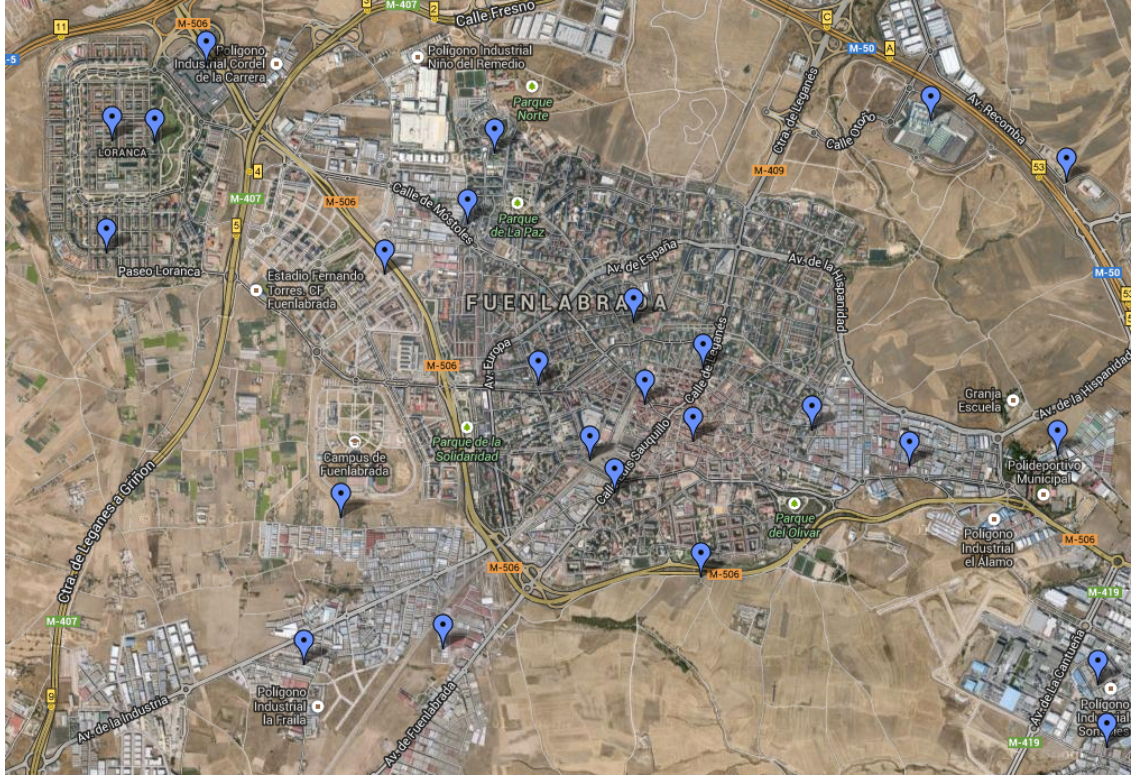


Figura 4.2: BTS de Vodafone en un entorno urbano. (Fuente: Infoantenas)

De esta forma, sobre este escenario se han realizado las siguientes mediciones:

- Fuenlabrada: Cuatro conjuntos de mediciones obtenidos en dos ubicaciones distintas, una exterior y otra interior.
- Leganes: Tres conjuntos de mediciones obtenidos en dos ubicaciones exteriores.

#### 4.3.2. Escenario rural

Se ha considerado escenario rural aquel con una densidad baja de BTS en los alrededores y una escasa edificación, generalmente de poca altura. En este caso, se han realizado las medidas en la urbanización Cotorredondo, perteneciente a la localidad de Batres. Ver figura 4.3.



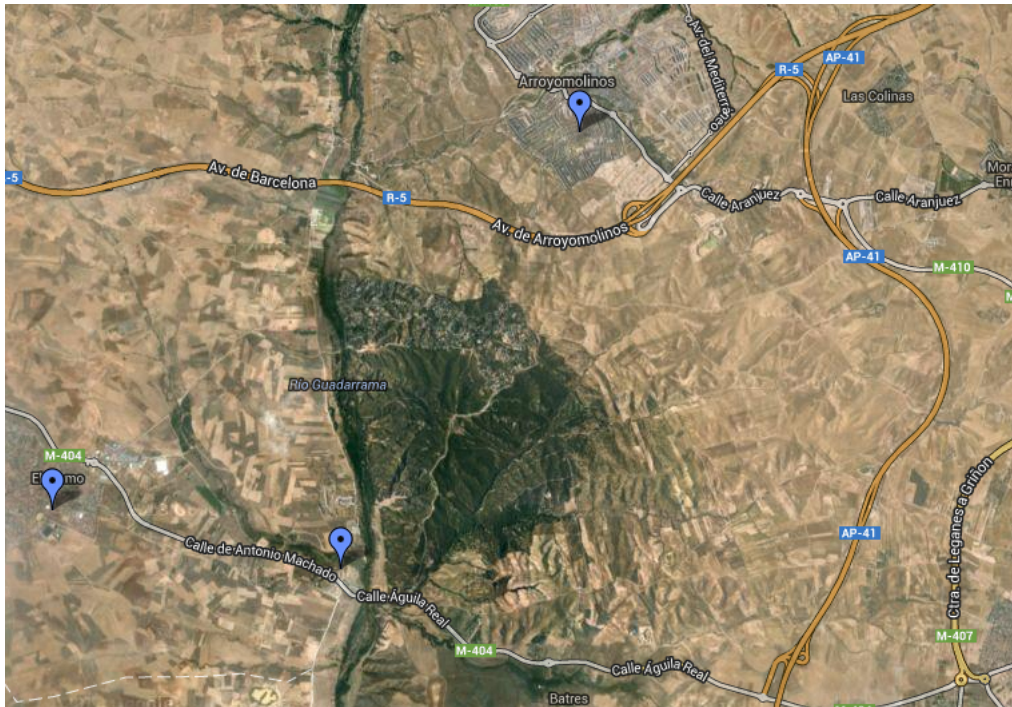


Figura 4.3: BTS de Vodafone en un entorno rural. (Fuente: Infoantenas)

De esta forma, sobre este escenario se han realizado las siguientes mediciones:

- Cotorredondo: Cinco conjuntos de mediciones obtenidos en tres ubicaciones distintas, una exterior y dos interiores. Ver figura 4.4.

## 4.4. Localización de estaciones base

Para hallar la ubicación de las estaciones base de telefonía móvil se han utilizado dos métodos. Se ha utilizado cada uno de estos métodos en el posterior procesamiento de los datos para poder compararlos.

### 4.4.1. Google Maps Mobile

Como se ha comentado en la introducción de este capítulo, Google provee una utilidad llamada Google Maps Mobile. Diseñada, en principio, para dispositivos móviles. Esta herramienta está diseñada para permitir la estimación de ubicación del usuario cuando no dispone de sistema GPS pero sí de

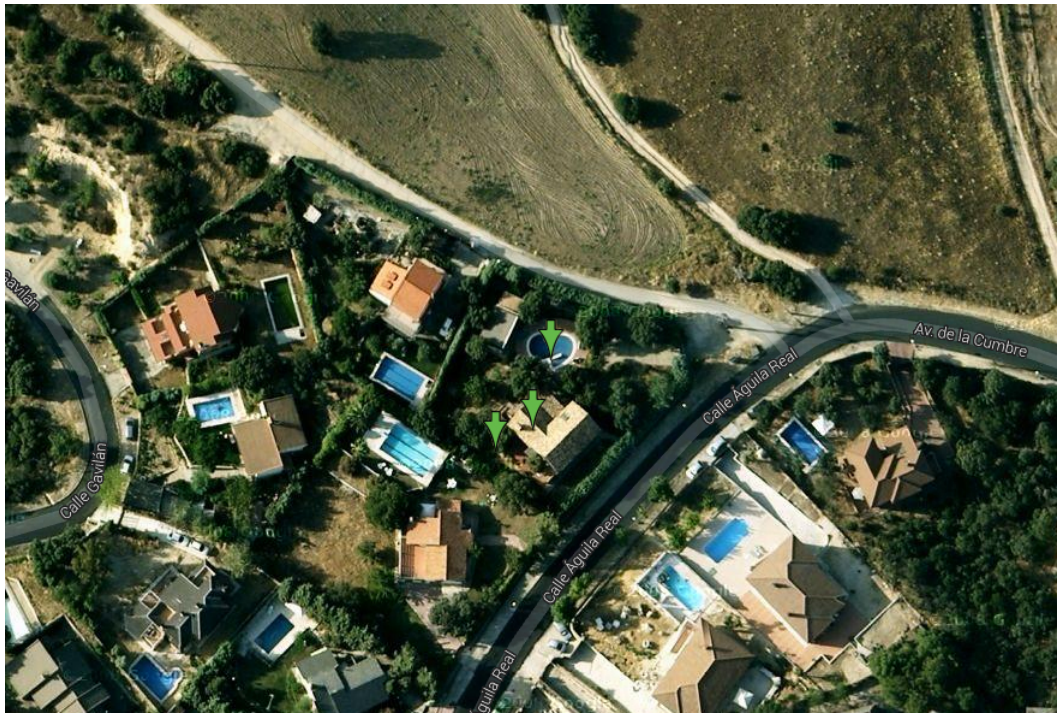


Figura 4.4: Ejemplo de lugares de medida en Cotorredondo.

conexión a Internet. El dispositivo envía a los servidores distinta información sobre las BTS recibidas y recibe una estimación de su posición.

En este caso se utiliza para recibir una aproximación de la localización de las BTS que queremos ubicar. Tras enviar una petición HTTP indicando CID y LAC de la estación deseada, el servidor devuelve el par latitud-longitud de dicha estación según sus estimaciones. En este caso se ha utilizado un *script* Python adjunto en el apéndice A.

No se sabe exactamente que técnicas usa Google para obtener esta localización. Existen varias teorías. Es posible que se detecte en su base de datos los puntos en los que la señal emitida por dichas estaciones se reciben con mayor fuerza, también es posible que se detecten los «handovers» en los cambios de celda, o exista algún tipo de triangulación.

No está tampoco claro como obtiene Google esta información, no ha sido publicada información oficial al respecto. Es posible que dicha información haya sido recolectada por empleados de Google específicamente, o mientras se hacían otras tareas (como «StreetView»). Aunque existe cierta polémica sobre si la información está siendo recopilada por todos los usuarios de teléfonos Android.



#### 4.4.2. Infoantenas

Se ha descrito previamente la funcionalidad de esta página web ofrecida por el ministerio de industria español, ver sección 2.2. Podemos observar en la imagen 2.9 los distintos datos que se muestran, en este caso se utilizarán las coordenadas de la BTS.

De esta manera, recopilaremos todas las estaciones base pertenecientes a la operadora utilizada en este caso, Vodafone, e intentaremos asociarlas con el CID y el LAC correspondiente a cada una ellas, ya que esa información no es proporcionada por la página web. Dado que no existe ningún tipo de relación directa (pública) entre los datos mencionados, para realizar esta tarea se utilizará la aproximación dada por Google sobre la ubicación de las BTS y la información conocida sobre la intensidad de la señal de cada estación base en los puntos de medida. Es decir, se generalizará intuyendo que las BTS recibidas con menor potencia estarán probablemente más lejos que las de mayor potencia, sobre todo cuando estas diferencias sean grandes y la medida se realice en una zona con buena visibilidad hacia las antenas de las estaciones (p.ej: sin mucha edificación en los alrededores). Así, de manera manual, se intentará asociar una a una todas las estaciones base utilizadas en el proyecto.

Cabe destacar que cada estación base cuenta con tres antenas distintas, cuyo objetivo es cubrir todo el espacio posible, de manera que la emisión de la señal desde la BTS se haga de una manera aproximadamente omnidireccional. De esta forma, podemos dividir los alrededores de la estación base en tres sectores, de unos  $120^\circ$  cada uno, que corresponderá con la zona designada a cada una de las antenas. Dichas zonas tendrán distintos identificadores de celda, y serán consecutivos. De manera que a cada una de las BTS le corresponderá tres CIDs consecutivos.

En zonas con buena visibilidad, la ubicación estimada de las BTS obtenida mediante Google Maps Mobile, suele encontrarse dentro del sector correspondiente a la antena con el CID deseado, que suele coincidir con los puntos en los que la señal, asociada al identificador de celda deseado, se detecta con mayor intensidad.

#### 4.4.3. Ejemplo de localización de varias BTS

Un ejemplo del procedimiento realizado para cada una de las estaciones base es el siguiente:

En las medidas realizadas en el marcador rojo de la figura 4.6, se han recibido los datos de la tabla 4.1.

Por otro lado, mediante Infoantenas, se ha obtenido la ubicación de tres

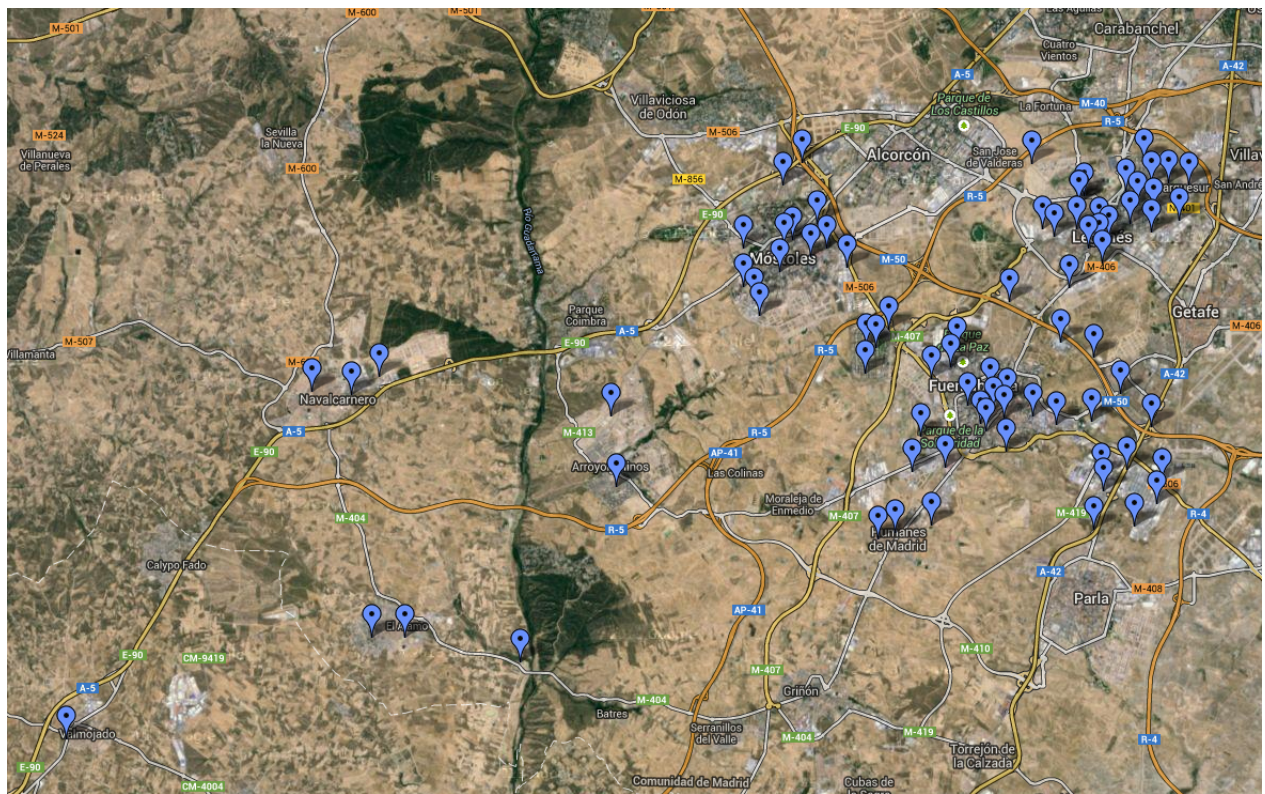


Figura 4.5: Todas las estaciones base utilizadas. (Fuente: Infoantenas)

estaciones base de telefonía móvil de Vodafone. Se pueden ver la imagen indicadas con los marcadores azules 1, 2 y 3. Una opción para asociar estas ubicaciones a los identificadores de celda obtenidos en la medición sería suponer que las antenas más cercanas serán las que se obtienen con mayor intensidad de señal. El problema de esta opción es que no tiene por qué ser cierta ya que, aunque supongamos que la potencia de emisión es la misma en las tres estaciones, se desconoce la directividad de las antenas o si existe algún tipo de desvanecimiento o bloqueo de la señal en alguno de los trayectos.

Por tanto se ha optado por buscar la ubicación estimada de las BTS recibidas utilizando Google Maps Mobile, facilitando el CID y el LAC de cada una. Las ubicaciones obtenidas se pueden ver en los marcadores verdes de la figura, y se relacionan tal y como se muestra en la tabla 4.2

De esta manera, por cercanía a las aproximaciones de Google se ha decidido establecer la misma relación de la tabla anterior con las ubicaciones obtenidas con las antenas. Es decir, la estación base con CID 15353 tendría su ubicación real en el marcador azul número 3 y se procedería igual con las

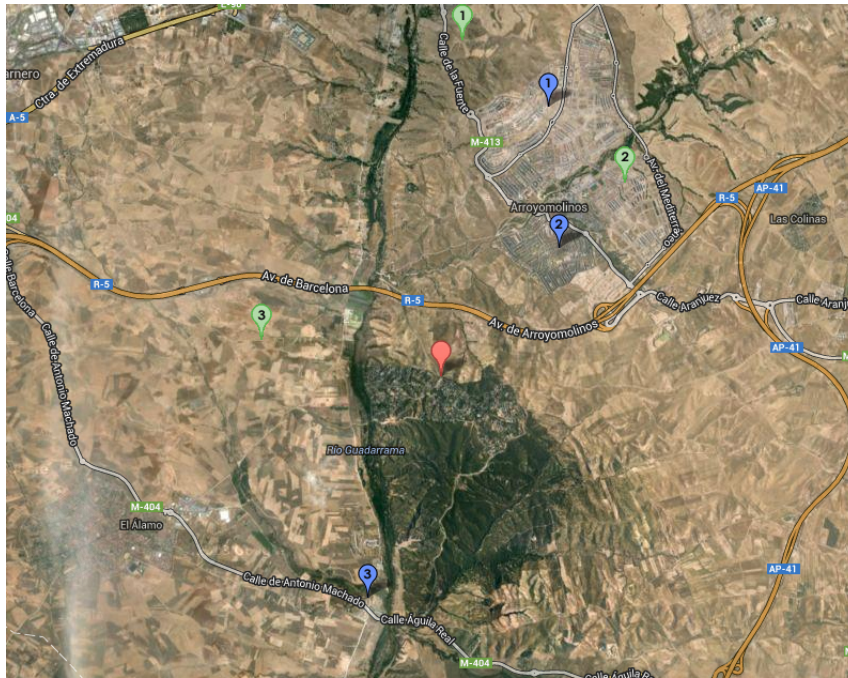


Figura 4.6: Ejemplo de localización de estaciones base.

LAC	CID	Intensidad de señal (RSSI)
19668	15353	22
19668	5852	15
19668	14180	12

Tabla 4.1: Medidas recibidas en un punto dado.

otras dos.

## 4.5. Problemas encontrados

- **Incertidumbre en la asociación CID-LAC con estación base física.** La manera de asociar el identificador de celda con una BTS localizada en Infoantenas es siempre una aproximación y no se sabe totalmente si la decisión es cierta. En la página web se ofrece un código asociado a cada estación base, pero parece ser un dato interno a la operadora o al ministerio, pero no útil para el público. En algunos casos esta asociación parece más sencilla si se busca el CID y LAC de la BTS mediante Google Maps Mobile y se asocia a la antenna física más cercana obtenida en Infoantenas, como el caso explicado en el ejemplo





can exactamente el lugar físico en el que está situada la antena, si no una zona bastante cercana. Como podemos ver en la figura 4.8 existe un error entre la posición dada por Infoantenenas (marcador azul) y la posición real de la antena, que podemos ver a simple vista con la imagen satélite de Google Maps (circulo rojo). Se ha intentado corregir este error localizando visualmente en el mapa cada una de las antenas y asignando las nuevas coordenadas.

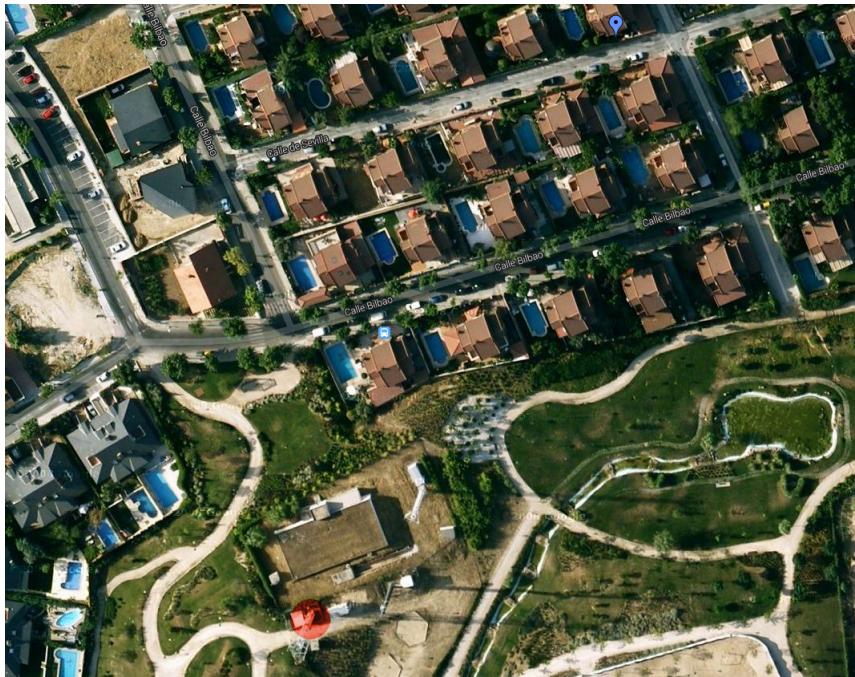


Figura 4.8: Error en la posición de una BTS dada por Infoantenenas.

- **Recopilación lenta de las BTS en Infoantenenas.** La recopilación de las antenas de una zona se debe hacer de una forma manual y tediosa que implica mucho tiempo. En la web Infoantenenas no existe la posibilidad de pedir un listado completo de todas las BTS que se encuentren dentro de una zona. Sólo ofrece un listado con un número muy reducido de resultados sobre las estaciones base más cercanas (alrededor de diez) de las cuales, la mayoría de ellas no pertenecerán al operador deseado. El único método que garantiza que hemos obtenido todas las BTS de la zona de interés, es recorrer tramo a tramo el mapa, hacer clic en cada una de las antenas indicadas, y copiar las coordenadas de aquellas que pertenezcan al operador deseado. Esto podría realizarse de una manera más ágil si la interfaz fuera rápida en la carga de los puntos

de interés, o si permitiera ver dichos puntos con un zoom lejano, pero dichos puntos indicando la presencia de estaciones base sólo aparecen con un zoom muy cercano al mapa, lo que implica un tiempo mucho mayor para recorrer la zona de manera manual.

- **Aproximación de la posición de la BTS utilizando Google Maps Mobile.** Como se ha comentado anteriormente, las posiciones de las estaciones base obtenidas utilizando este método no son reales. Dan una aproximación, a veces demasiado lejana o confusa de dónde puede estar la antena real. Por lo que parece que no se puede utilizar únicamente este método si se quiere obtener una mejor aproximación a la ubicación del usuario. Podemos ver un ejemplo en la figura 4.7 en la que podemos apreciar que Google Mobile Maps indica que una de las estación base de Vodafone se encuentra en uno de los jardines de la Universidad Carlos III.

# Capítulo 5

## Procesado y análisis de los datos

En este capítulo se explicarán los distintos algoritmos utilizados para la estimación de la localización. Cómo se ha realizado el procesado. Se realizará un análisis los resultados obtenidos y se compararán con otros métodos existentes. Y, por último, se extraerán conclusiones de dichas observaciones.

### 5.1. Algoritmos utilizados

Una vez se han recopilado todos los datos que se desean obtener, es necesario elegir una manera de estimar la posición del usuario. La aproximación que se dará en este proyecto será considerar las estaciones base recibidas como vértices de una figura geométrica y se calculará la posición deseada obteniendo distintos centros. Se ha descartado una opción empírica como utilizar un modelo de propagación e intentar calcular un punto de manera exacta, utilizando los cortes de tres circunferencias (parecido al método usado por el sistema GPS) ya que los escenarios son muy variados y por tanto habría que cambiar constantemente el modelo utilizado, con lo cual no podríamos tener un sistema general. Además se desconocen muchas de las variables generalmente necesarias en este tipo de aproximaciones, como por ejemplo la altura de las estaciones base.

Por estas razones se han elegido los tres tipos de centros geométricos expuestos a continuación.

### 5.1.1. Centroide

Se puede definir el centroide de una figura geométrica de dos dimensiones como la media aritmética de todos los puntos de dicha figura. Es decir, para un conjunto finito de  $k$  puntos  $x_1, x_2, \dots, x_k$  se tiene el centroide  $C$  tal que:

$$C = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_k}{k} \quad (5.1)$$

En el caso a estudiar en este proyecto, para calcular el centroide de la figura cuyos vértices corresponden a las estaciones base de telefonía móvil, se suman todas las coordenadas de las BTS, latitud por un lado y longitud por otro, y se dividen entre el número de estaciones base. De esta forma obtendremos un par latitud-longitud que indicará el centroide de la figura y por ende la aproximación de la localización del usuario por este método.

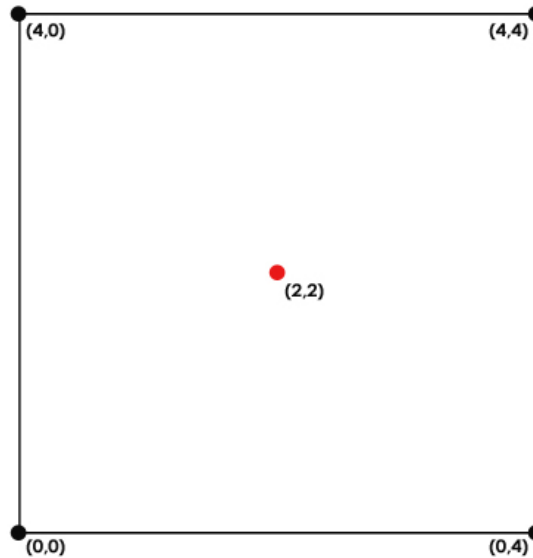


Figura 5.1: Centroide de una figura.

### 5.1.2. Centro de masas

En física, el centro de masas, de una distribución de masa en el espacio, es el punto donde la posición relativa y ponderada de la masa distribuida suma cero. Aritméticamente, por tanto, se puede definir como la relación de la suma de los puntos geométricos que componen una figura, multiplicados por su masa, entre la suma de la masa de todos los puntos de la figura.



Es decir, para un conjunto finito de  $k$  puntos  $x_1, x_2, \dots, x_k$ , cuya masa es, respectivamente,  $m_1, m_2, \dots, m_k$  se tiene el centro de masas  $C_m$  tal que:

$$C_m = \frac{x_1 * m_1 + x_2 * m_2 + \dots + x_k * m_k}{m_1 + m_2 + \dots + m_k} \quad (5.2)$$

En este proyecto, los puntos de la figura se han identificado con las ubicaciones de las estaciones base, y la masa de cada uno de estos, con la intensidad de la señal (en RSSI) recibida de la BTS a la que está asociado. Así aplicando la fórmula 5.2, obtenemos la aproximación de la localización del usuario por este método.

El centro de masas se corresponderá con el centroide cuando todas las masas que forman la figura sean iguales, o cuando se cumplan ciertas propiedades de simetría.

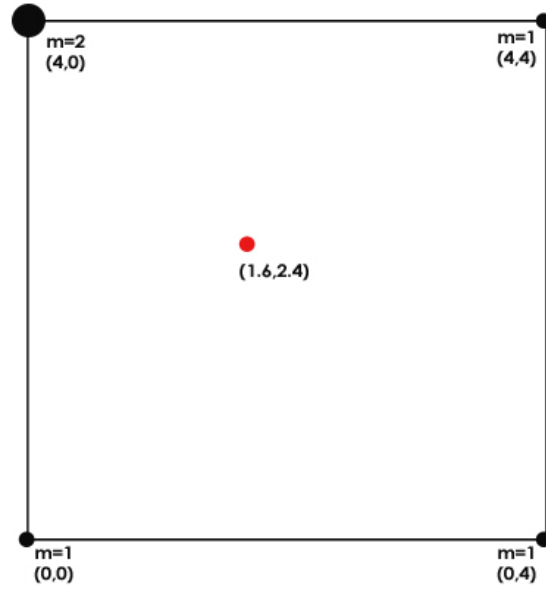


Figura 5.2: Centro de masas de una figura.

### 5.1.3. Centro de masas al cuadrado

Por último, se ha realizado otra aproximación, esta vez utilizando la misma idea que en el algoritmo anterior con la salvedad de que se han sustituido las masas por el cuadrado de las mismas. Así, podemos expresarlo como la

relación de la suma de los puntos geométricos que componen una figura, multiplicados por su masa al cuadrado, entre la suma de las masas al cuadrado de todos los puntos de la figura. Es decir, para un conjunto finito de  $k$  puntos  $x_1, x_2, \dots, x_k$ , cuya masa es, respectivamente,  $m_1, m_2, \dots, m_k$  se tiene el centro de masas al cuadrado  $C_m^2$  tal que:

$$C_m^2 = \frac{x_1 * m_1^2 + x_2 * m_2^2 + \dots + x_k * m_k^2}{m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_k^2} \quad (5.3)$$

Este nuevo centro se ha calculado, considerando que la intensidad de la señal telefónica decae con el cuadrado de la distancia en condiciones de espacio libre, por tanto se ha considerado que se puede conseguir una mejor aproximación con este modelo. Esencialmente, con este modelo, si una estación base se recibe con mucha más intensidad que las demás, las localizaciones calculadas quedarán más cercanas a dicha estación que en el resto de algoritmos utilizados anteriormente.

El centro de masas al cuadrado, se corresponderá con el centroide y el centro de masas cuando todas las masas que forman la figura sean iguales, o cuando se cumplan ciertas propiedades de simetría.

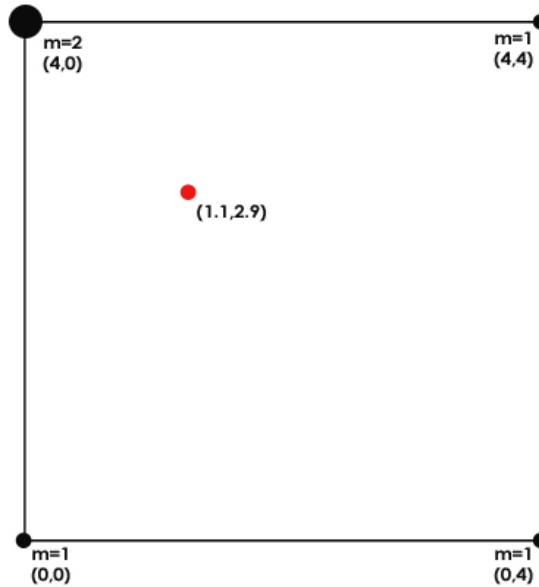


Figura 5.3: Centro de masas al cuadrado de una figura.

## 5.2. Procesado

Una vez obtenidos diferentes archivos de medidas, tal y como se explicó en el capítulo anterior, y elegidos los tres métodos que se utilizarán para calcular las aproximaciones, es necesario procesar los datos y aplicar los algoritmos descritos. Para esto, se ha diseñado un sencillo programa utilizando el lenguaje de programación Java.

Este programa, recibe como parámetro el nombre del archivo que se desea procesar, que debe poseer el formato descrito en el apartado 3.4. Y produce como salida tres ficheros de texto llamados: Coordenadas, Distancias y Medias. Todos ellos seguidos por el nombre del archivo original y con formato *txt*.

En el primero de los ficheros vendrán reflejadas las coordenadas calculadas u obtenidas por los siguientes métodos:

- **GPS.** Obtenidas directamente por el terminal. (5 muestras)
- **Localización por Google (sin Wi-Fi).** Obtenidas directamente por el terminal.(20 muestras)
- **Localización por Google (con Wi-Fi).** Obtenidas directamente por el terminal.(20 muestras)
- **Centroide.**
  - Utilizando la ubicación de las estaciones base obtenida por Google Maps Mobile. (20 muestras \* número de antenas)
  - Utilizando la ubicación de las estaciones base obtenida por Infoantenas. (20 muestras \* número de antenas)
- **Centro de masas.**
  - Utilizando la ubicación de las estaciones base obtenida por Google Maps Mobile.(20 muestras \* número de antenas)
  - Utilizando la ubicación de las estaciones base obtenida por Infoantenas.(20 muestras \* número de antenas)
- **Centro de masas al cuadrado.**
  - Utilizando la ubicación de las estaciones base obtenida por Google Maps Mobile.(20 muestras \* número de antenas)
  - Utilizando la ubicación de las estaciones base obtenida por Infoantenas.(20 muestras \* número de antenas)

El número de muestras puede ser menor si la cobertura del sistema utilizado no era buena en el momento de la medición, ya que se pretende que sea un proceso finito, con una duración máxima ya estipulada. Para esto se han introducido una serie de temporizadores que pasarán a la siguiente tarea en caso de que la medida no se haya tomado en el tiempo reservado para ello. Se puede observar para el caso de los tres algoritmos descritos, se calcularán varias coordenadas variando el número de estaciones base utilizadas. Este número varía entre 1 y 7, dependiendo de la zona.

Por ejemplo, en una de las iteraciones de la recepción de información 2G, el terminal recibe señales de 5 estaciones base distintas. Por tanto, se calculará un centroide utilizando únicamente la BTS que se recibe con más intensidad (en este caso la ubicación estimada coincidiría con la ubicación de dicha BTS). Se calculará otro utilizando ahora las 2 BTS recibidas con más intensidad, otro con 3, otro con 4 y otro con 5. Se harán estos 5 cálculos con las ubicaciones de las BTS obtenidas por GMM y otro con las obtenidas por Infoantenas. Se seguirá el mismo proceso con el centro de masas y con el centro de masas al cuadrado. Cabe destacar que estos cálculos se realizan para una sola muestra de la recepción de los datos de celda en modo 2G, como pudimos ver en el apartado 3.4, se han tomado veinte de estas muestras en cada caso, por lo que este proceso se realiza veinte veces, una vez por muestra.

En el fichero «Distancias» se ha calculado, para cada par latitud-longitud recogido o calculado, la distancia existente entre la localización estimada y la considerada posición real. Para ello se ha utilizado la fórmula mostrada a continuación, obtenida de [17].

$$D = 6378137 * ACos(Cos(Lat1) * Cos(Lat2) * Cos(Lon2 - Lon1) + Sin(Lat1) * Sin(Lat2)) \quad (5.4)$$

Siendo D la distancia entre los dos puntos (en metros), 6378137 el radio de la tierra (en metros),  $Lat1$  y  $Lon1$  las coordenadas de la posición real estimada y  $Lat2$  y  $Lon2$  las coordenadas de la posición calculada o recibida.

Por último, el fichero «Medias» indicará la distancia media calculada sobre las veinte realizaciones, para cada uno de los métodos.

### 5.3. Análisis de la exactitud

En esta sección se analizarán los resultados obtenidos, teniendo como indicador la exactitud de la estimación de la localización. De esta manera se discutirá sobre el error medio en la posición obtenido en cada tipo de medida.

Este error será la distancia calculada entre la posición estimada y la que se ha considerado posición real.

### 5.3.1. Entorno urbano

En este apartado se van a presentar los distintos resultados obtenidos al procesar todas las mediciones realizadas en entorno urbano, tanto en interiores como en exteriores. Y tras esto se comentará su significado.

- **Métodos existentes:** GPS y Google Maps Mobile con y sin Wi-Fi.

Método	Error medio (metros)
GPS	10
Google Maps Mobile (sin WiFi)	383
Google Maps Mobile (con WiFi)	53

Tabla 5.1: Error medio obtenido por métodos existentes en un escenario urbano.

- **Centroide:**

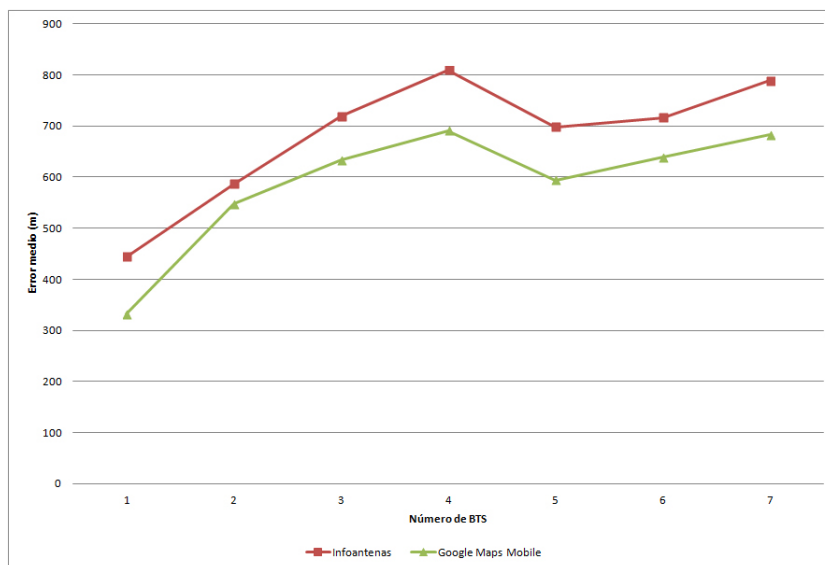


Figura 5.4: Error medio del centroide en un escenario urbano.

- **Centro de masas:**

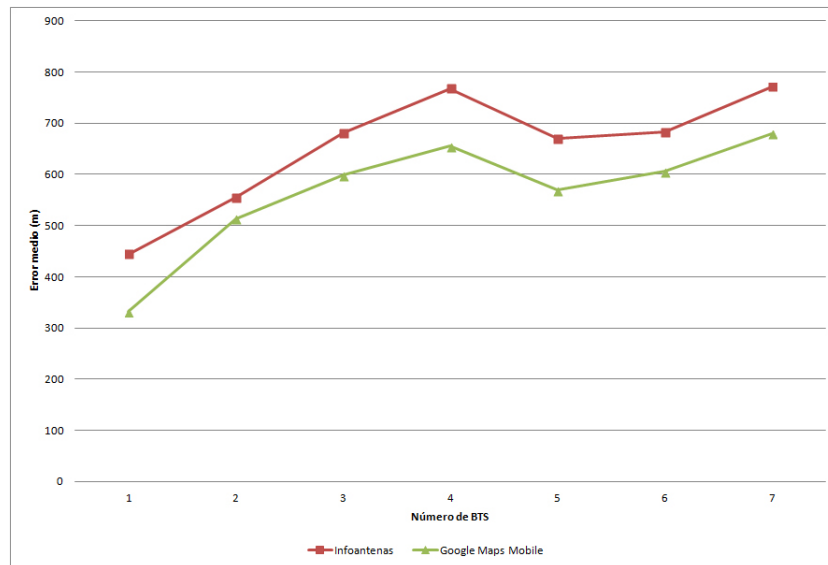


Figura 5.5: Error medio del centro de masas un escenario urbano.

■ Centro de masas al cuadrado:

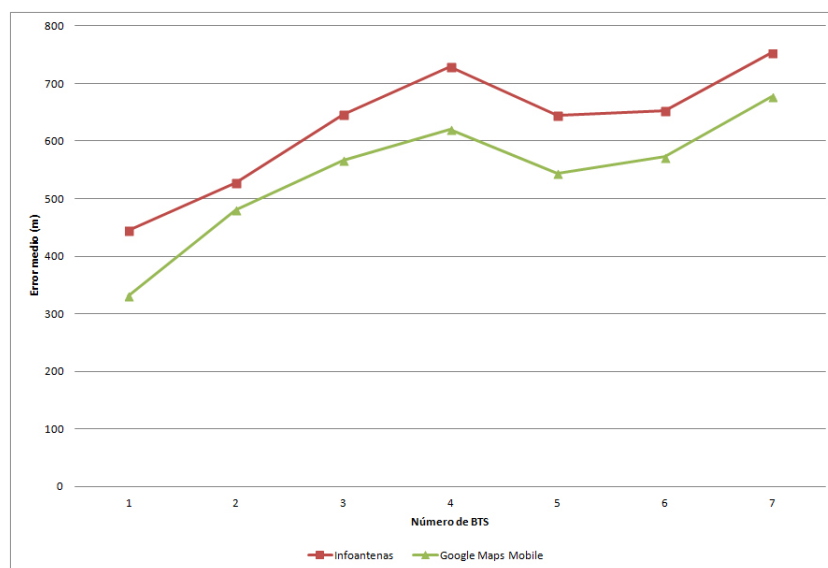


Figura 5.6: Error medio del centro de masas al cuadrado un escenario urbano.

Se puede observar en las gráficas anteriores que, para los tres algoritmos, el mejor resultado se obtiene si sólo se utiliza una BTS en el cálculo, o lo que es lo mismo, si se aproxima la localización del usuario a la de la estación base a la que el terminal está conectado.

Esto ocurre porque en entornos urbanos, la separación entre estaciones base no es muy grande, aproximadamente entre 500 m. y 2 Km., además los modelos de propagación para estos entornos son muy distintos dependiendo de la situación específica del usuario. Por tanto, parece que, generalmente, el error en el que se incurrirá realizando este tipo de cálculo, generalizado para cualquier situación, será mayor que la distancia a la BTS más cercana.

También se puede ver indicado en estas gráficas que el error es algo menor cuando se utiliza la aproximación de la ubicación de las BTS dada por GMM comparada con la ubicación obtenida de Infoantenas. Esto parece ser una simple coincidencia y se debe a que, en las medidas realizadas, la BTS más cercana ha estado más próxima a la posición del usuario utilizando la estimación de GMM que utilizando la ubicación de Infoantenas, pero podría haberse dado perfectamente el caso contrario. Si se aumentase el número de medidas realizada hasta poder tener una generalización más adecuada, ambos métodos deberían reflejar resultados similares. En cualquier caso, se necesitaría realizar un número bastante mayor de medidas en distintos lugares para poder realizar una generalización más adecuada.

Se observa además que la curva dibujada usando las ubicaciones de Infoantenas tiene la misma forma que utilizando las ubicaciones de GMM, lo cual parece indicar que las asociaciones realizadas entre los CIDs y las ubicaciones reales de las BTS son correctas o, al menos, son cercanas a las estimaciones realizadas por GMM, debido a que, para la asignación del CID a una BTS indicada en Infoantenas, primero se ha mirado donde GMM ubicaba la BTS con dicho CID.

Si se comparan los tres algoritmos utilizados, en el caso de que se utilice más de una BTS en el cálculo, se puede ver en la figura 5.7 cómo da mejores resultados el algoritmo de centro de masas al cuadrado, ya que, en estos casos, acerca la estimación de la ubicación a la BTS que recibe con más potencia.

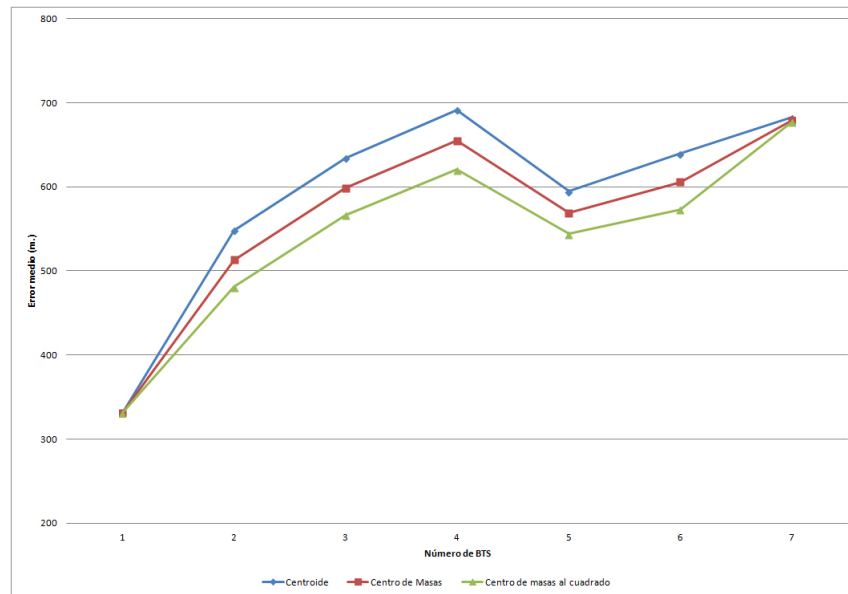


Figura 5.7: Error medio de los tres algoritmos en escenario urbano utilizando GMM.

Por tanto, se han seleccionado los algoritmos que mejor resultado han dado que, tanto en el caso de usar Infoantenas como GMM, se corresponde con cualquiera de los tres casos utilizando sólo una BTS como se ha mencionado anteriormente. Se obtiene la siguiente gráfica:

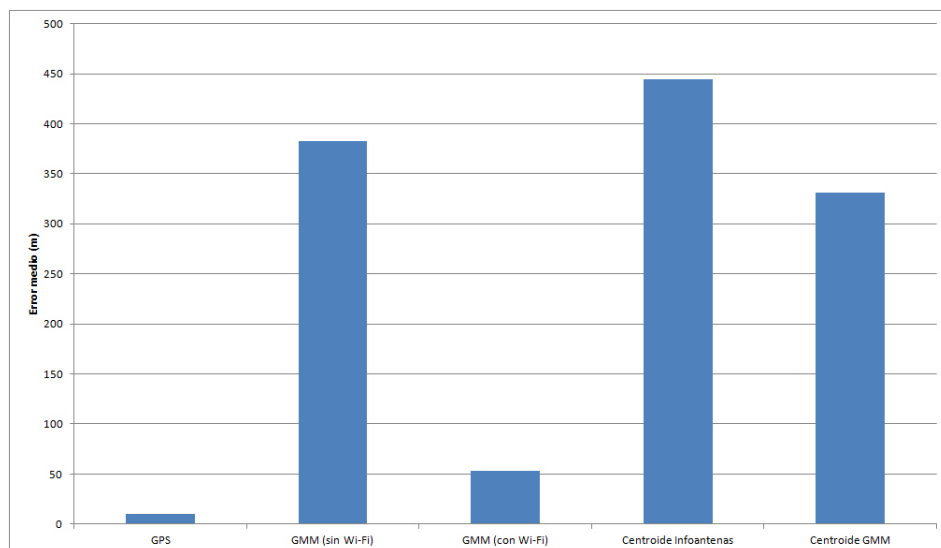


Figura 5.8: Error medio de todos los métodos utilizados en entorno urbano.



Los resultados obtenidos por medio de los algoritmos diseñados, son similares a los que se obtienen utilizando Google Maps Mobile en el terminal sin tener activa la conexión Wi-Fi. Sin embargo quedan muy lejos de la localización de GMM utilizando Wi-Fi, y más aun del GPS que es el método más exacto.

### 5.3.2. Entorno rural

De la misma manera que en el apartado anterior, se van a presentar los distintos resultados obtenidos al procesar todas las mediciones realizadas en entorno rural, tanto en interiores como en exteriores. Y tras esto se comentarán las conclusiones obtenidas.

- **Métodos existentes:** GPS y Google Maps Mobile con y sin Wi-Fi.

Método	Error medio (metros)
GPS	14
Google Maps Mobile (sin Wi-Fi)	7727
Google Maps Mobile (con Wi-Fi)	7975

Tabla 5.2: Error medio obtenido por métodos existentes en un escenario rural.

- **Centroide:**

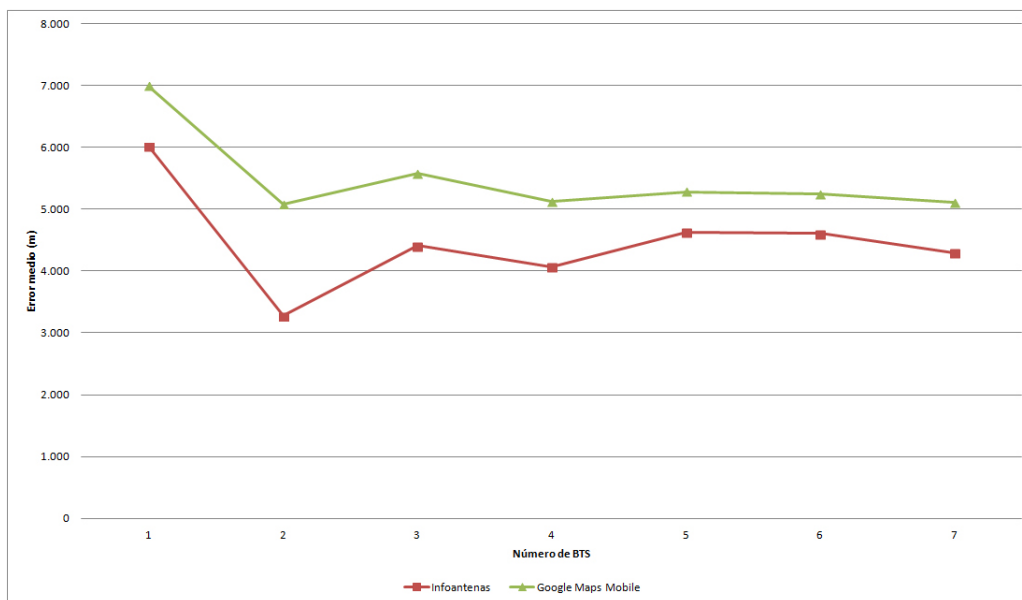


Figura 5.9: Error medio del centroide en un escenario rural.

■ Centro de masas:

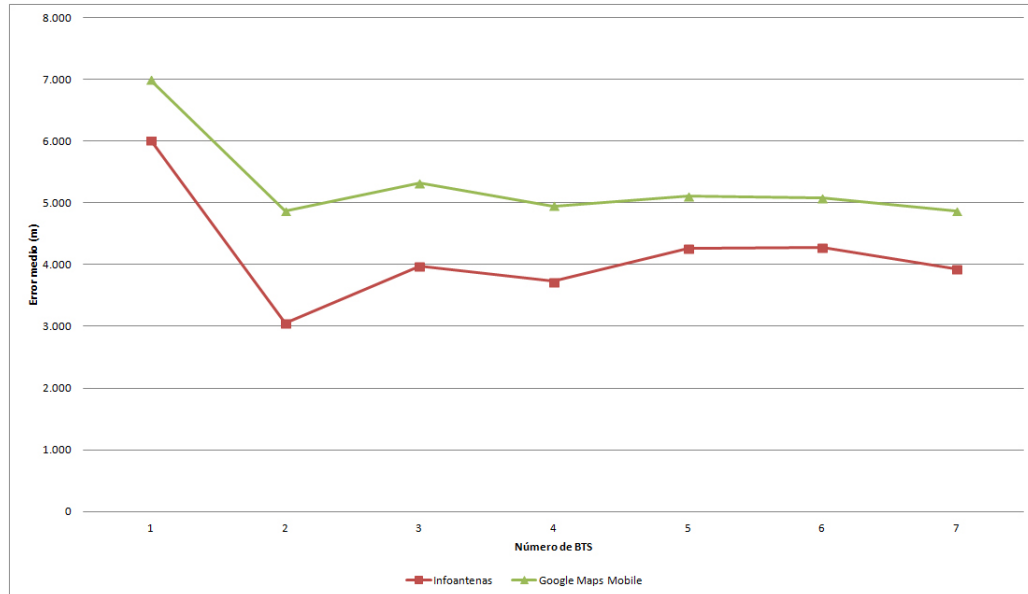


Figura 5.10: Error medio del centro de masas un escenario rural.

■ Centro de masas al cuadrado:

Lo primero que se aprecia en las gráficas, es como el error medio cometido utilizando la ubicación de las BTS obtenido por Infoantenas es bastante menor, en todos los casos, al cometido usando la ubicación aproximada de dichas estaciones base obtenida por GMM. Esto tiene sentido, ya que al realizar las mediciones en zonas consideradas rurales, se va a tener bastante menos edificaciones y más bajas que en el caso urbano. Por tanto, es de esperar que la propagación de la señal telefónica se realice de una manera más uniforme y predecible, lo que permitirá que los algoritmos funcionen mejor al asemejarse más con la realidad. De esta forma, el utilizar la ubicación real de la antena será una información importante a la hora de reducir el error del cálculo.

Además, se intuye que Google tendrá bastantes menos datos acumulados en estas áreas, debido a que dichos datos se recopilan principalmente por herramientas de la compañía, y los usuarios de Android, que generalmente se encontrarán en zonas más pobladas. Así pues, las aproximaciones disponibles deberían ser peores que en escenarios urbanos. Se ha podido ver en las observaciones obtenidas durante el proceso, cómo estas aproximaciones

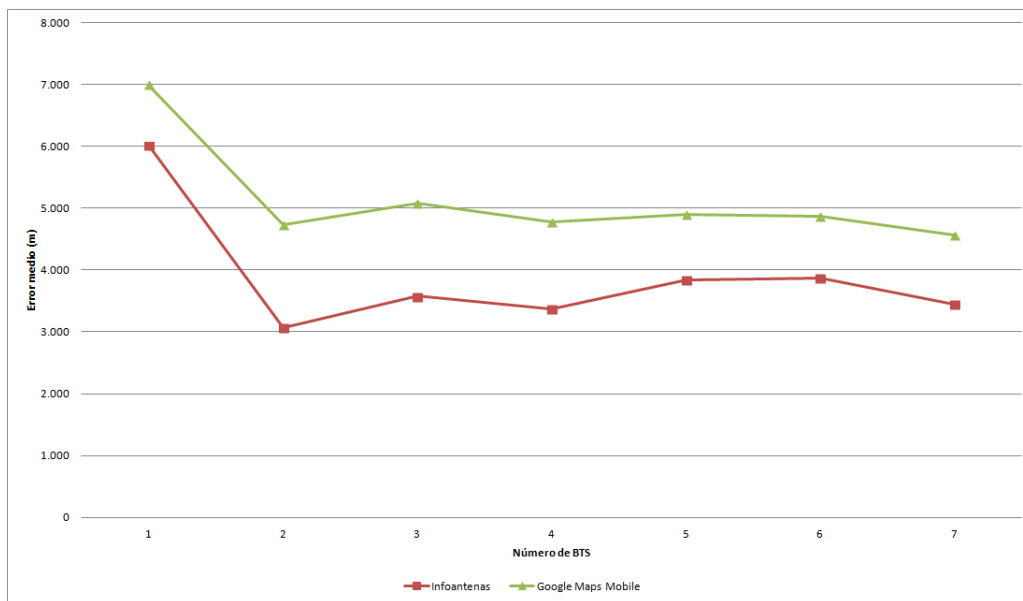


Figura 5.11: Error medio del centro de masas al cuadrado un escenario rural.

suelen estar en carreteras principales o zonas transitadas, que es donde Google puede recibir muestras de sus usuarios o de sus empleados.

Se observa también como en este caso, al contrario del escenario urbano, la localización obtenida utilizando una sola BTS, es decir, aproximar la localización al lugar en el que esta situada dicha estación base, da el mayor error medio. Esto es porque generalmente en zonas rurales el usuario del terminal estará situado lejos de la BTS, al haber poca densidad de éstas en el terreno. Por tanto, la combinación de tener un modelo más predecible y una mayor separación entre estaciones base, hace que esta aproximación sea fácilmente mejorable con los algoritmos utilizados.

En este escenario, obtenemos el mejor resultado utilizando dos BTS, a la que está conectado el terminal y la más potente de las estaciones vecinas. Aumentando el número de BTS utilizadas es algo peor, pero también es una mejora considerable a utilizar una, o al servicio de localización proporcionado por GMM (ver tabla 5.2).

Una posible explicación a que los algoritmos funcionen mejor utilizando la ubicación de dos BTS es que, generalmente, en este tipo de escenarios las dos estaciones recibidas con más potencia estarán considerablemente más cercanas que el resto, que al introducirlas en el cálculo es probable que

desvíen ligeramente la medida. Otro caso típico será que se reciba la señal de una de estas estaciones base con una intensidad bastante mayor que el resto, y al introducir una segunda BTS permite, en estos algoritmos, realizar una aproximación de la distancia a la que se encuentra el terminal de dicha estación y la orientación con respecto a ella, dado que la localización calculada se situará en la línea formada por las dos BTS, que con alta probabilidad será fiel a la orientación real, ya que si se colocara en otra línea distante a esta probablemente la segunda BTS sería otra distinta.

Como en el caso del escenario urbano, se observa que la curva dibujada usando las ubicaciones de Infoantenas tiene la misma forma que utilizando las ubicaciones de GMM, lo cual parece indicar que las asociaciones realizadas entre los CIDs y las ubicaciones reales de las BTS son correctas o, al menos, son cercanas a las estimaciones realizadas por GMM, debido a que, para la asignación del CID a una BTS indicada en Infoantenas, primero se ha mirado donde GMM ubicaba la BTS con dicho CID.

Comparando los tres algoritmos utilizados, se aprecia como el método de centro de masas al cuadrado es generalmente mejor que los otros dos. Esto es debido a que, como se ha comentado anteriormente, las condiciones de propagación son más similares a las de espacio libre en el entorno rural que en el urbano. En condiciones de espacio libre, la intensidad de la señal decae con el cuadrado de la distancia, que es la idea básica planteada en este algoritmo, y por tanto es de esperar que se comporte de una manera más fiel a la realidad y por tanto tenga un menor error medio en los cálculos.

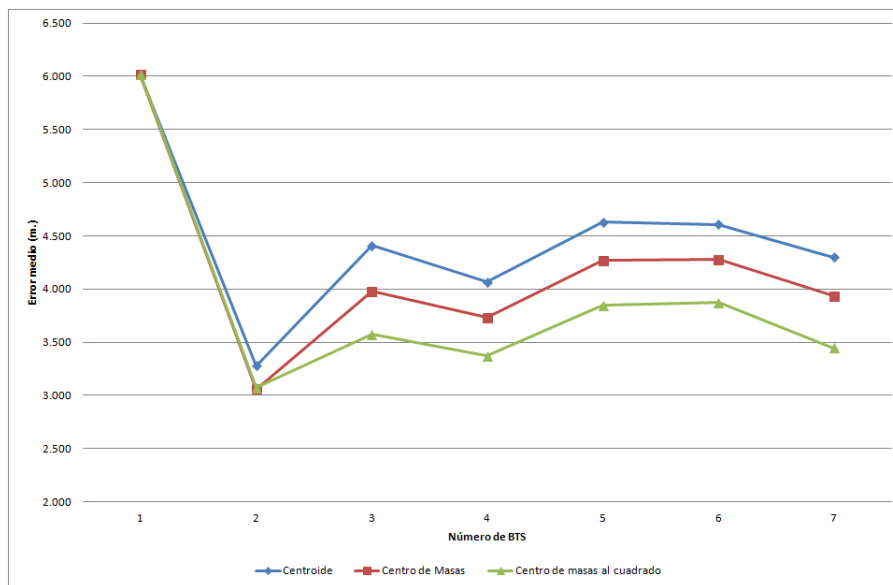


Figura 5.12: Error medio de los tres algoritmos en escenario rural utilizando Infoantenas.

Seleccionado los algoritmos que mejor resultado han dado, que tanto en el caso de usar Infoantenas como GMM se corresponden al algoritmo «Centro de masas al cuadrado» utilizando dos BTS, y comparándolos con los mostrados en la tabla 5.2 se obtiene la siguiente gráfica:

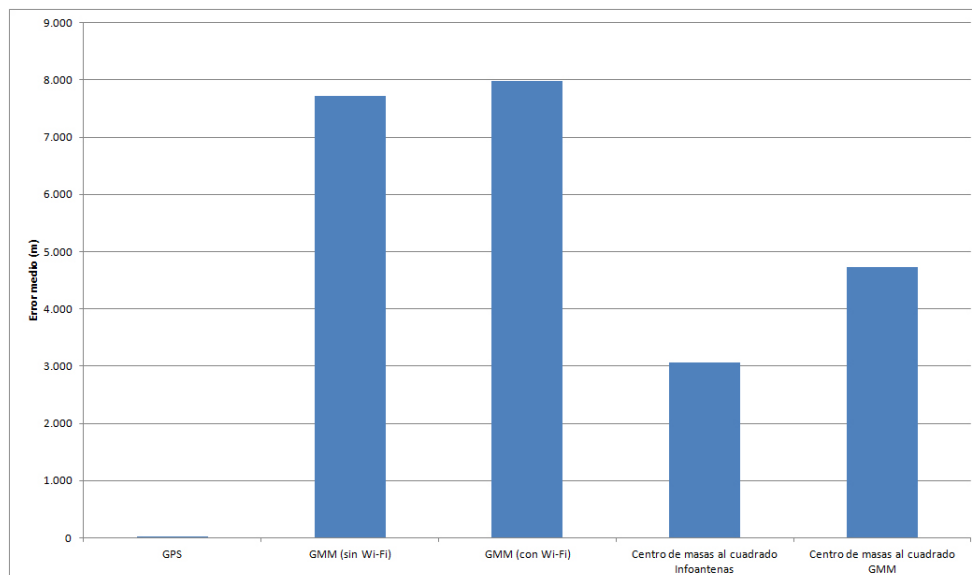


Figura 5.13: Error medio de todos los métodos utilizados en entorno rural.

Se aprecia como el error medio utilizando el algoritmo «Centro de masas al cuadrado» con las ubicaciones de las estaciones base obtenidas por Infoan-tenas, es ostensiblemente menor al del resto de métodos, exceptuando el GPS. También, si se utiliza el mismo método utilizando las ubicaciones de las BTS dadas por GMM vemos que también se obtiene un error bastante menor al dado por la petición estándar a GMM (coarse location). Esto parece indicar que Google, en las peticiones a GMM no realiza ninguna triangulación si no que parece basarse en algún método de «fingerprinting» para proporcionar dicha localización y de ahí que en entornos rurales, donde tiene mucha menor cantidad de datos, dé resultados peores. Se observa como no existe diferencia entre activar o no la conexión Wi-Fi, ya que en los casos de las medidas realizadas no había ninguna red de este tipo al alcance.

Lógicamente, ninguno de los métodos se acerca a la exactitud del GPS, aunque no es ese el objetivo del estudio.

### 5.3.3. Comparación entre exteriores e interiores

- **Métodos existentes:** GPS y Google Maps Mobile con y sin Wi-Fi.

Método	Exteriores(m.)	Interiores(m.)
GPS	6	37
Google Maps Mobile (sin WiFi)	3176	3064
Google Maps Mobile (con WiFi)	3266	2508

Tabla 5.3: Error medio obtenido por métodos existentes exteriores e interiores.

- **Centroide:**

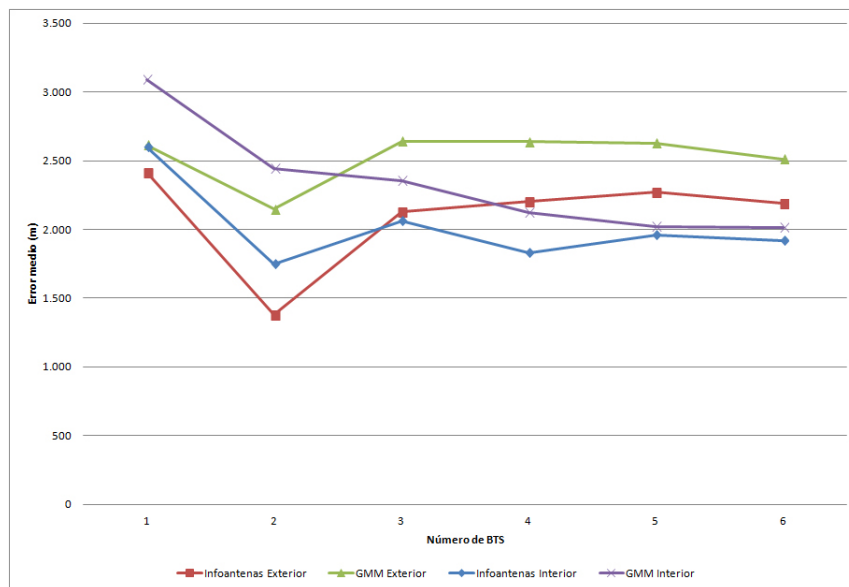


Figura 5.14: Error medio del centroide en exteriores e interiores.

#### ■ Centro de masas:

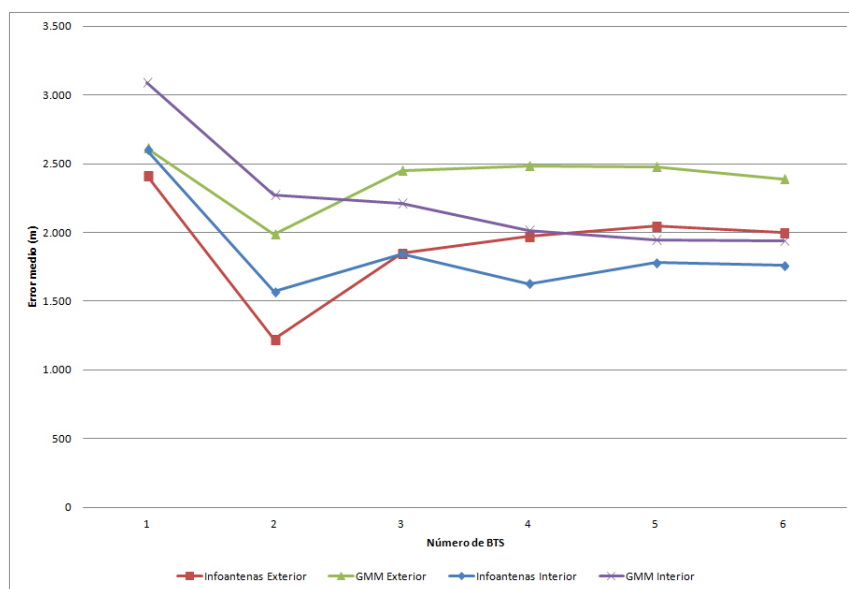


Figura 5.15: Error medio del centro de masas en exteriores e interiores.

#### ■ Centro de masas al cuadrado:

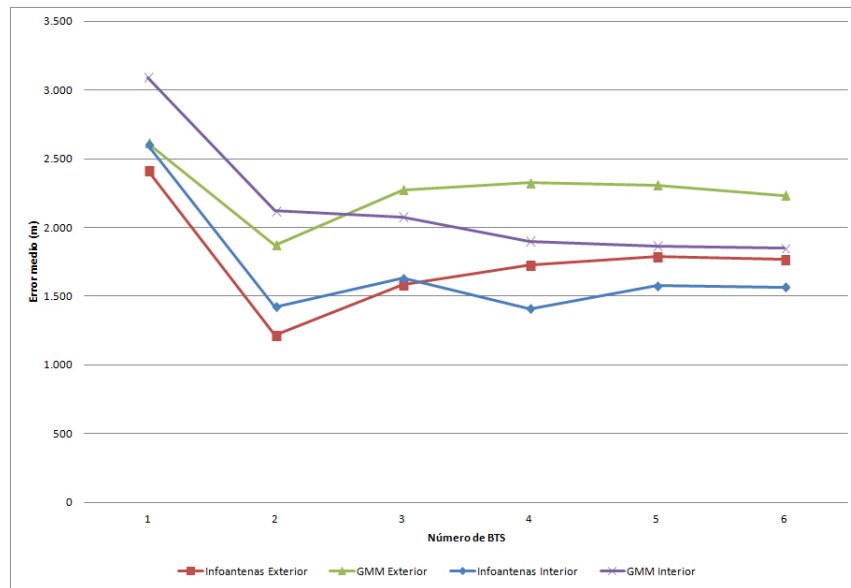


Figura 5.16: Error medio del centro de masas al cuadrado en exteriores e interiores.

Se observa en la tabla 5.3 como el error del GPS aumenta razonablemente en escenarios interiores. Además, la recepción con este sistema en estos casos suele ser muy mala, lo que da lugar a que se tarde mucho tiempo en adquirir la señal y que en muchos caso ni siquiera se llegue a recibir. También se puede ver como el método GMM con Wi-Fi en interiores tiene un error algo menor, esto puede ser debido a que las redes Wi-Fi son más comunes en este tipo de escenarios y se suelen recibir con más potencia, lo cual facilitará mejores resultados en este método. En el método GMM sin Wi-Fi no se aprecia ninguna diferencia significativa. Parece comportarse igual en ambos entornos.

Viendo la información de las tres gráficas anteriores, no parece existir relación entre el error medio y el hecho de las medidas se tomen en un espacio interior o exterior. Teóricamente tampoco parece que debería existir, ya que la cobertura en ambos escenarios es similar.

#### 5.3.4. Conclusiones

Tras observar este capítulo se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- En entornos urbanos, utilizando los algoritmos diseñados en este proyecto, se alcanza un error medio similar al obtenido por GMM sin Wi-Fi. Sin embargo, los errores obtenidos por GMM con Wi-Fi, y por GPS son mucho menores. Además, en dichos algoritmos, el menor error



se obtiene cuando sólo se utiliza una BTS en el cálculo, es decir, cuando la ubicación del usuario se aproxima a la de la BTS a la que está conectado el terminal. Esta localización será, por tanto, la misma para los tres algoritmos discutidos. También cabe destacar que los resultados obtenidos utilizando la localización de las BTS dada por Infoantenas o por GMM son muy parecidos.

- En entornos rurales, el error medio obtenido por medio de los algoritmos diseñados es mucho menor que el obtenido por GMM con o sin Wi-Fi (aproximadamente la mitad). Este error, además, se ve reducido si la posición de las BTS es obtenida de Infoantenas en vez de GMM. Lo que indica que en este tipo de escenarios adquiere más importancia conocer la posición real de las mismas. Con respecto a los algoritmos utilizados, el que mejores resultados proporciona es el centro de masas al cuadrado, dado que se asemeja más al modelo de propagación en el vacío. En los tres algoritmos, se obtiene un mejor resultado si se utilizan dos BTS en el cálculo. Más BTS también proporcionan un error medio semejante aunque tienden a desviar algo mas la localización.
- Los tres métodos diseñados ofrecen las mismas prestaciones en ubicaciones exteriores e interiores.



# Capítulo 6

## Planificación y presupuesto

En este capítulo se incluye un pequeño resumen del proyecto, dividido en fases con el correspondiente diagrama de Gantt y un desglose de costes de personal, costes del material y costes totales.

### 6.1. Planificación

- Investigación (01/10/2012 - 15/10/2012).

En este período se estudiaron las técnicas de localización existentes. El principal objetivo era tener unos buenos conocimientos sobre el tema a tratar, para poder ver qué experimentos se han realizado y los resultados que se han obtenido. Para así hacer una mejor preparación del proyecto y adquirir nuevas ideas o cambios para el mismo. Además se estudió cómo hacer la estimación de la localización para un número variable de BTS y se decidió basarse en centros geométricos, y tras leer al respecto se decidió escoger los algoritmos expuestos en el proyecto.

- Familiarización con la plataforma Android (15/10/2012 - 15/11/2012).

Aquí se estudiaron las principales características de Android y su entorno de desarrollo. En este caso, se ha aprendido a programar en Android prácticamente desde cero, por lo tanto se ha estudiado su funcionamiento, su estructura y el entorno de desarrollo adecuado para llevar a cabo la implementación de la aplicación, que para este proyecto ha sido Eclipse. Además, se ha prestado atención a las características especiales que ofrece este sistema operativo sobre la localización del usuario y sobre la telefonía del dispositivo.

- Programación de la aplicación (15/11/2012 - 31/01/2013).

En esta fase, se diseñó e implementó la aplicación Android descrita en el proyecto y necesaria para las siguientes etapas del mismo. Se solapa en el tiempo con la fase de toma de medidas debido a que se hicieron un número de pruebas mientras se tomaban dichas medidas, para comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación y modificar todo aquello que se considerara necesario.

- Toma de medidas (15/01/2013 - 31/05/2013).

En este período se tomaron un conjunto de medidas en diversos escenarios, que permitieron posteriormente realizar una generalización relativamente acertada de los resultados obtenidos. Se observa como esta etapa se solapa en el tiempo con las dos siguientes, debido a que, aunque la mayor parte de la misma se finalizó en el primer mes, mientras se procesaban y analizaban los resultados, también se iba retroalimentando la toma de medidas y así se realizaron medidas nuevas según se consideró necesario.

- Procesado de los datos (15/01/2013 - 31/05/2013).

En esta fase se implementó el programa Java y se pasó a procesar los datos recopilados en la fase anterior. Los archivos de salida además se llevaron a Microsoft Excel, para realizar las distintas gráficas.

- Análisis de los resultados (15/04/2013 - 21/06/2013).

Aquí se analizaron los resultados que se iban obteniendo y se consideraba si era necesario introducir más conjuntos de datos o modificar de alguna manera el procesado. Posteriormente se ha realizado una comparación entre los métodos diseñados en el proyecto y con los ya existentes. Y se han extraído las principales conclusiones sobre el trabajo desarrollado.

- Documentación (01/10/2012 - 17/10/2013).

Durante toda la duración del proyecto, se han ido tomando notas y realizando una breve descripción y recopilación de lo desarrollado en cada fase del mismo. Aunque la puesta en común de todo esto y, por tanto, la mayor parte de este trabajo se ha realizado desde el 15 de agosto de 2013 hasta el 17 de octubre de 2013. Desde el 21 de junio hasta el 15 de agosto se mantuvo el desarrollo del proyecto en pausa debido al período de exámenes y a un tiempo de vacaciones.

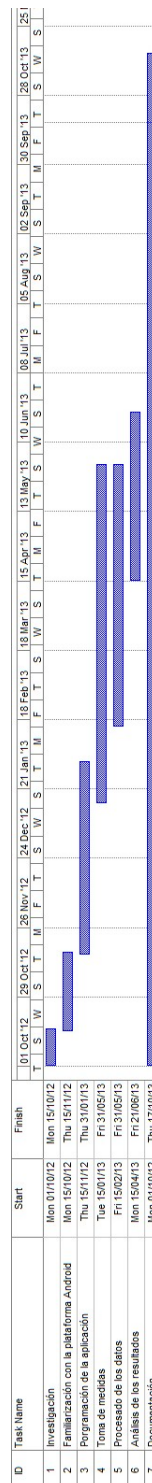


Figura 6.1: Diagrama de Gantt del proyecto

## 6.2. Presupuesto

1. Autor:  
Carlos Martínez de la Osa

2. Departamento:  
Ingeniería Telemática

3. Descripción del proyecto:  
Título: Estudio de la localización mediante centros geométricos de ubicaciones de estaciones base  
Duración (meses): 10  
Tasa de costes indirectos: 20 %

4. Presupuesto total del proyecto (valores en Euros):  
21.559,97 Euros

5. Desglose presupuestario (costes directos):

### PERSONAL

Apellidos, Nombre	N.I.F.	Categoría	Dedicación (hombres mes)	Coste hombre mes	Coste (Euros)	Firma
Martínez de la Osa, Carlos	49020879J	Ingeniero	5	2.694,39	13.471,95	
García Rubio, Carlos	-	Ingeniero Senior	0,5	4.289,54	2.144,77	
Rodríguez Carrión, Alicia	49019028W	Ingeniero Senior	0,5	4.289,54	2.144,77	
<b>Hombres mes</b>			<b>6</b>	<b>Total</b>	<b>17.761,49</b>	

### EQUIPOS

Descripción	Coste (Euros)	% uso dedicado al proyecto	Dedicación (meses)	Período depreciación	Coste imputable
Ordenador portátil HP Pavilion 1	800,00	100	10	60	133,33
HTC Magic	100	100	6	60	10,00
<b>Total</b>					<b>143,33</b>

### SUBCONTRATACIÓN DE TAREAS

Descripción	Empresa	Coste imputable
-	- A	-
<b>Total</b>		<b>-</b>

<b>OTROS COSTES DIRECTOS DEL PROYECTO</b>		
Medios de transporte utilizados	Departamento Ingeniería Telemática	50,00
Licencia bimensual Microsoft Office	Departamento Ingeniería Telemática	11,82
<b>Total</b>		<b>61,82</b>

6. Resumen de costes:

Costes directos		
Personal		17.761,49
Amortización		143,33
Subcontratación de tareas		0,00
Costes de funcionamiento		61,82
Costes indirectos		3.593,33
<b>Total</b>		<b>21.559,97</b>

El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de 21.559,97 EUROS.

Leganés a 17 de Octubre de 2013

El ingeniero proyectista

Fdo. Carlos Martínez de la Osa





# Capítulo 7

## Conclusiones y trabajos futuros

### 7.1. Conclusiones

Como se ha ido desarrollando durante esta memoria, la premisa del proyecto era realizar un estudio de la localización de un terminal móvil teniendo en cuenta la información proporcionada por el portal web Infoantenas, y compararla con otro tipo de localizaciones ya existentes o fáciles de calcular.

Como el número de BTS captadas por el terminal varía entre uno y siete, se decidió realizar el cálculo de dicha localización mediante algoritmos que calculen centros geométricos de figuras cuyos vértices corresponden con la posición de las BTS, que fueran válidos para distintos tipos de figuras.

Para comprobar cuánta relevancia tenía el utilizar la ubicación exacta de las antenas, se ha realizado también el mismo estudio utilizando la ubicación aproximada de las BTS proporcionada por Google Maps Mobile en lugar de Infoantenas. Se pretendía observar si esta diferencia cambiaría de alguna manera los resultados, o si por el contrario serían parecidos, de ahí que las localizaciones ofrecidas por los servicios de Google eran buenas. Y si este cambio afectaba en mayor o menor medida dependiendo del escenario.

Las mediciones en un entorno urbano y su posterior procesado, han dado como resultado que la exactitud conseguida con los algoritmos diseñados es similar a la proporcionada por GMM con la conexión Wi-Fi desactivada en el terminal, mientras que la proporcionada por GPS y GMM con Wi-Fi es mayor. Además se ha observado como la mejor aproximación dada por los algoritmos era situar al usuario directamente en la ubicación de la BTS a la que estaba conectado el terminal, por tanto no era necesario hacer ningún

tipo de cálculo. No había cambios significativos entre usar las ubicaciones de las BTS dadas por Infoantenas y las dadas por GMM, en este escenario.

En un entorno rural, en el cual hay menos edificación y mayor distancia entre BTS, los algoritmos diseñados reducen aproximadamente a la mitad el error medio obtenido por GMM, aunque muy lejos del sistema GPS. Se han obtenido mejores resultados utilizando la ubicación real de las BTS, dada por Infoantenas que usando la ubicación aproximada de éstas dada por GMM. Además, el menor error medio se ha conseguido utilizando el algoritmo «Centro de masas al cuadrado», teniendo en cuenta, en los cálculos, sólo las dos BTS recibidas con más potencia.

No se han encontrado diferencias significativas en los resultados entre espacios interiores y exteriores.

Se puede concluir, vistos los resultados, que se obtiene una localización razonablemente buena para ciertos servicios (un error medio de 400 metros aproximadamente en zonas urbanas y de 3000 metros en zonas rurales, en los datos disponibles). Similar a la de otros métodos en el caso urbano y bastante mejor en el caso rural. Con lo cual los métodos descritos en este proyecto podrían tener un uso real, no de precisión como puede proporcionar el GPS, pero sí orientados a aplicaciones que utilicen una posición aproximada. Como consultar servicios cercanos, o información de la zona en la que está situado el usuario.

Las técnicas descritas, además, presentan una importante ventaja de privacidad frente al servicio GMM, ya que, en el caso de utilizar la ubicación de las BTS dada por Infoantenas, se dispondría de dicha información a priori y no se necesitaría de un intermediario que pueda utilizar la información requerida por el usuario. También se podría seguir manteniendo la privacidad en el caso de utilizar la ubicación de las antenas ofrecida por GMM, ya que se podría guardar una lista a modo de memoria caché con las BTS que el usuario requiere con mayor frecuencia, y si no se dispone de dicha información se podría hacer peticiones con CIDs aleatorios a parte de los que interesan para el cálculo de la posición, imposibilitando así el que el servicio intermediario disponga de datos específicos sobre la posición deseada.

También existe alguna ventaja con respecto al GPS. La adquisición de señal será más rápida y consumirá menos batería, ya que generalmente estará toda la información necesaria disponible en el terminal. Y además su funcionamiento será mucho más eficiente en interiores, donde el sistema

GPS suele tener graves problema de cobertura.

Comparando los resultados obtenidos entre usar las ubicaciones de las BTS dadas por Infoantenas y las dadas por GMM, no hay diferencia en el caso urbano (son incluso mejores usando las de GMM en el conjunto de datos utilizado) y en caso rural las primeras dan mejores resultados, aunque las segundas mejoran también sustancialmente los métodos de posicionamiento de GMM en Android. Por otro lado, se comentó en el capítulo 4, que no se tiene una relación directa entre los CIDs recibidos en el terminal de las distintas estaciones base y la ubicación real dada en Infoantenas. Por tanto había que realizar esta asociación de manera manual, estudiando cada caso por separado, lo que llevaba una gran cantidad de tiempo y además no garantiza en ningún momento que esta asociación se realice correctamente.

Teniendo esta información en cuenta, creemos que el uso de de la ubicación de las BTS en Infoantenas no merece la pena, de momento, debido a que requeriría realizar la asociación BTS-CID para todas las antenas posibles a priori. Además la mejora que presenta no es tan grande comparada a usar la posición de las BTS obtenida por GMM. Este tipo de cálculo, sin embargo, sería posible si se proporcionara la relación mencionada anteriormente, así como una forma más automática para localizar todas las BTS disponibles en las distintas áreas.

También sería útil para las operadoras de telefonía si quisieran ofrecer un servicio de localización, debido a que ellas disponen de las ubicaciones de sus estaciones base así como de información relativa a la directividad y potencia emitida por cada una de las antenas.

Otro dato que se puede intuir de los resultados obtenidos y de las observaciones realizadas durante la toma de medias, es la manera en que GMM estima la localización del usuario cuando no dispone de redes Wi-Fi. Dado que hemos sido capaces de mejorar visiblemente el error medio ofrecido por este servicio, utilizando la propia ubicación de las BTS dada por el mismo, simplemente utilizando las intensidades de señal de dos de las estaciones base, es razonable asumir que dicho servicio no utiliza ninguna técnica de triangulación o cálculo geométrico, si no que parece basarse en técnicas de *fingerprinting* utilizando la vasta información recopilada por los usuarios de Android, así como de sus propios empleados.

Para finalizar, se podría usar de manera efectiva una aplicación que, en entorno rural, estima la localización del usuario calculando el centro de masas

al cuadrado de una línea cuyos extremos son las ubicaciones, obtenidas por GMM, de las dos BTS recibidas con más potencia. Y en entorno urbano, la localización se aproximará a la ubicación, obtenida por GMM, de la BTS a la que está conectado el terminal. El problema, en este caso, sería cómo determinar si el usuario se encuentra en un entorno urbano o rural, que se podría hacer basándose en el número de BTS recibidas y también calculando la separación entre ellas.

## 7.2. Trabajos futuros

El estudio que se ha realizado puede ser continuado o mejorado, y también servir como base a otras líneas de trabajo futuras.

Una manera de introducir mejoras en el cálculo la posición puede ser la introducción de modelos más exactos de propagación, como *Okumura-Hata* para escenarios urbanos, que, aunque suelen requerir más datos de los que podemos disponer, como puede ser la potencia emitida por las estaciones, se pueden emplear ciertas suposiciones y comprobar qué tipo de cambio introducen en los resultados.

Otra vía a explorar sería realizar este tipo de estudio y predicción de la localización en interiores utilizando las redes Wi-Fi. En un espacio definido, en el que se conozca la posición de los *routers* y repetidores, además de la potencia que emiten, se podría intentar estimar la posición del usuario utilizando técnicas de triangulación o de centros geométricos, y comparar su eficacia respecto a técnicas de *fingerprinting* u otros métodos distintos.

También, teniendo en cuenta la aparición y progresiva implantación de la red 4G en nuestro país, sería razonable explorar las opciones de localización planteadas en el proyecto, con dicha infraestructura. Además dicha tecnología presenta funcionalidades específicas dirigidas a mejorar la localización de los usuarios, hasta el punto de poder realizar estimaciones de altitud en la posición. Se puede leer más detalladamente en el artículo indicado en el enlace [13].





# Referencias

- [1] Android developers. <http://developer.android.com/develop/index.html>. Último acceso, octubre 2013.
- [2] Android location api. <http://developer.android.com/reference/android/location/package-summary.html>. Último acceso, octubre 2013.
- [3] Android telephony api. <http://developer.android.com/reference/android/telephony/package-summary.html>. Último acceso, octubre 2013.
- [4] Geoposicionamiento gsm independiente de la red móvil. <http://www.kriptopolis.org/geoposicionamiento-gsm-1>. Último acceso, octubre 2013.
- [5] Muhammad Aatique. Evaluation of tdoa techniques for position location in cdma systems. *Master Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute*, 1997.
- [6] Android API. [http://developer.android.com/reference/android/location/Location.html#getAccuracy\(\)](http://developer.android.com/reference/android/location/Location.html#getAccuracy()). Último acceso, octubre 2013.
- [7] Débora Gómez Bertoli. Estudio, implementación y análisis de métodos de trilateración para la localización de usuarios desde sus terminales móviles. *Master Thesis, Universidad Carlos III de Madrid*, 2012.
- [8] Malcolm Macnaughtan Christopher Drane and Craig Scott. Positioning for gsm telephones. *IEEE Communications Magazine*, 1998.
- [9] Instituto de Economía Digital. Geolocalización, smartphones y cuestiones legales aún por definir. [http://www.icemd.com/ficha\\_de\\_novedad.html?id\\_novedad=9822](http://www.icemd.com/ficha_de_novedad.html?id_novedad=9822). Último acceso, octubre 2013.

- [10] Agencia Española de Protección de Datos. Autoridades europeas de protección de datos aprueban un dictamen sobre el impacto en la privacidad de los servicios de geolocalización de smartphones. [http://www.agpd.es/portalwebAGPD/revista\\_prensa/revista\\_prensa/2011/notas\\_prensa/common/mayo/110518\\_NP\\_GEOLOCALIZACION.pdf](http://www.agpd.es/portalwebAGPD/revista_prensa/revista_prensa/2011/notas_prensa/common/mayo/110518_NP_GEOLOCALIZACION.pdf). Último acceso, octubre 2013.
- [11] G.M. Djuknic and R.E. Richton. Geolocation and assisted gps. *ACM*, 2001.
- [12] Bohdan Dulya. Gsm-positioning. [http://www.data.ks.uni-freiburg.de/download/papers/lbssemWS08/Folien/Bohdan\\_Dulya\\_GSM\\_Slides.pdf](http://www.data.ks.uni-freiburg.de/download/papers/lbssemWS08/Folien/Bohdan_Dulya_GSM_Slides.pdf). Último acceso, octubre 2013.
- [13] Ericsson. Positioning with lte. <http://www.ericsson.com/res/docs/whitepapers/WP-LTE-positioning.pdf>. Último acceso, octubre 2013.
- [14] João Figueiras and Simone Frattasi. *Mobile Positioning and Tracking, From Conventional to Cooperative Techniques*. Wiley, 2001.
- [15] U.S. Government. Gps official website. <http://www.gps.gov/systems/gps/>. Último acceso, octubre 2013.
- [16] Robin Henniges. Current approaches of wifi positioning. *TU-Berlin*, 2012.
- [17] Mapanet. Calculo de distancia entre dos coordenadas geográficas. <http://www.mapanet.eu/resources/Script-Distance.htm>. Último acceso, octubre 2013.
- [18] Reto Meier. *Professional Android 4 application development*. Wiley, 2012.
- [19] Turismo y Comercio Ministerio de Industria. Portal web infoantenas. <http://geoportal.mityc.es/VCTEL/vcne.do>. Último acceso, octubre 2013.
- [20] Lawrence R. Weill Mohinder S. Grewal and Angus P. Andrews. *Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration*. Wiley, 2001.



# Apéndice A

## Script python Google Maps Mobile

```
1 #!/usr/bin/python
2
3 country = 'fr '
4 device = "Nokia N95 8Gb"
5 user_agent = 'Mozilla/4.0 (compatible; MSIE 5.5; Windows NT) '
6 mmap_url = 'http://www.google.com/glm/mmap'
7 geo_url = 'http://maps.google.com/maps/geo '
8
9 from struct import pack, unpack
10 from httplib import HTTP
11 import urllib2
12
13 def fetch_latlong_http(query):
14     http = HTTP('www.google.com', 80)
15     http.putrequest('POST', '/glm/mmap')
16     http.putheader('Content-Type', 'application/binary ')
17     http.putheader('Content-Length', str(len(query)))
18     http.endheaders()
19     http.send(query)
20     code, msg, headers = http.getreply()
21     result = http.file.read()
22     return result
23
24 def fetch_latlong_urllib(query):
25     headers = { 'User-Agent' : user_agent }
26     req = urllib2.Request(mmap_url, query, headers)
27     resp = urllib2.urlopen(req)
28     response = resp.read()
29     return response
30
31 fetch_latlong = fetch_latlong_http
```

```

32
33 def get_location_by_cell(cid, lac, mnc=0, mcc=0, country='fr'):
34     b_string = pack('>hqh2sh13sh5sh3sBiihiiiiii ',
35                     21, 0,
36                     len(country), country,
37                     len(device), device,
38                     len('1.3.1'), "1.3.1",
39                     len('Web'), "Web",
40                     27, 0, 0,
41                     3, 0, cid, lac,
42                     0, 0, 0, 0)
43
44     bytes = fetch_latlong(b_string)
45     (a, b, errorCode, latitude, longitude, c, d, e) = unpack(">
46         hBiiiiih", bytes)
47     latitude = latitude / 1000000.0
48     longitude = longitude / 1000000.0
49
50     return latitude, longitude
51
52 def get_location_by_geo(latitude, longitude):
53     url = '%s?%s,%s&output=json&oe=utf8' % (geo_url, str(
54         latitude), str(longitude))
55     return urllib2.urlopen(url).read()
56
57 if __name__ == '__main__':
58     print get_location_by_cell(20465, 495, 3, 262)

```